ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 16 MAI 1960.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE-GEORGES BARRILLON.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

L'Académie de médecine de Turin annonce qu'elle décernera, en 1961, le 3e **Prix Saint-Vincent** pour les sciences médicales de 10 000 000 de lires et invite l'Académie à lui adresser, à ce sujet, des suggestions si elle le juge à propos.

M. **René Garnier** fait hommage à l'Académie du tome I : *Cinématique du point et du solide. Composition des mouvements*, de son *Cours de Cinématique.* Quatrième édition revue et augmentée.

Les Ouvrages suivants sont présentés par M. **Arnaud Denjoy** :

Gregory C. Moisil. *Teoria algebrică a mecanismelor automate* et *Rapport sur le développement dans la R. P. R. de la Théorie algébrique des mécanismes automatiques.*

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Université de Grenoble. École d'été de physique théorique. Les Houches. *La théorie des gaz neutres et ionisés.*

2° Laura Guggenbuhl. 1° *Gergonne, founder of the Annales de mathématiques* et sa traduction en langue française; 2° *Note on the Gergonne point of a triangle;* 3° *International Congress of mathematicians, Edinburgh,* 1958.

3° Bulletin de la Direction des mines et de la géologie (Afrique équatoriale). *Le précambrien du Gabon occidental en Afrique équatoriale française et régions limitrophes,* par Jean-Pierre Dévigne (Thèse).

4° *Training in radiological health and safety.* Report of a Committee appointed by the United Kingdom atomic energy authority.

5° *Extracts from letters addressed to Professor Henslow by C. Darwin, Esq.* read at a meeting of the Cambridge philosophical Society, 16 November 1835.

6° National food irradiation research program. *Hearings before the joint Committee on atomic energy Congress of the United States.* Eighty-sixth Congress. Second session on National food irradiation research program. January 14 and 15, 1960. Part I.

7° *Radioisotopes in science and industry.* A special report of the UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION. January 1960.

8° Académie des sciences de l'Esthonie. *Materialy VII Sovechtchanija po liouminestsentsii (kristallofosfory). Moskva, 26 iounja — 3 ioulja* 1958 g. (*Matériaux pour la VII*e *délibération sur la luminescence*).

ÉLECTIONS, PRÉSENTATIONS, DÉLÉGATIONS.

Par la majorité absolue des suffrages, M. **JOHN HASBROUCK VAN VLECK** est élu Correspondant pour la Section de Physique en remplacement de Sir *John Townsend*, décédé, et MM. **HANS STILLE** et **MARCEL ROUBAULT**, Correspondants pour la Section de Géologie en remplacement de M. *Reginald Aldworth Daly*, décédé, et de M. *Léon Moret* élu Membre non résidant.

Dans la formation d'une liste de candidats à la place de Membre titulaire vacante au Bureau des Longitudes par la mort de M. *Georges Durand-Viel*, pour la première ligne, M. *André Gougenheim* obtient 40 suffrages contre 3 à M. *André Lemonnier;* il y a 2 bulletins blancs.

Pour la seconde ligne, M. *André Lemonnier* obtient 41 suffrages.

En conséquence, la liste présentée à M. le Ministre de l'Éducation Nationale comprendra :

En première ligne.................... M. **ANDRÉ GOUGENHEIM**.
En seconde ligne..................... M. **ANDRÉ LEMONNIER**.

Dans la formation d'une liste de candidats à la place de Membre titulaire vacante au Bureau des Longitudes par la mort de M. *Jean Cabannes*, pour la première ligne, M. *Gustave Ribaud* obtient 39 suffrages contre 3 à M. *Jean Lecomte;* il y a 2 bulletins blancs.

Pour la seconde ligne, M. *Jean Lecomte* obtient 41 suffrages; il y a 2 bulletins blancs.

En conséquence, la liste présentée à M. le Ministre de l'Éducation Nationale comprendra :

En première ligne.................... M. **GUSTAVE RIBAUD**.
En seconde ligne..................... M. **JEAN LECOMTE**.

M. **LOUIS DE BROGLIE** est désigné pour représenter l'Académie aux Cérémonies qui auront lieu à l'Observatoire de Paris, le 2 juin 1960, sous les auspices du **COMITÉ NATIONAL FERRIÉ**, à l'occasion des cinquantenaires des premières émissions de signaux radiotélégraphiques permettant la détermination de l'heure et la mesure précise des longitudes, et de la création du grand poste souterrain du Champ de Mars.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

HYDRAULIQUE. — *Variations d'un tourbillon.*

Note (*) de M. **Charles Camichel**.

Conformément à la Note précédente [1], l'auteur décrit, avec les figures indispensables, les variations du tourbillon produit par l'écoulement de l'eau dans laquelle on met de très petites quantités d'un corps colorant : chlorure d'argent, fluorescéine, sirop d'orgeat et récemment encre de Chine très diluée, ne modifiant pas la viscosité du liquide, afin de rendre visibles des mouvements que l'aluminium ne décèle pas.

Le tourbillon est produit dans l'ouvrage dyssymétrique des Notes précédentes (*fig.* 1).

Observons d'abord les variations d'un seul filet de chlorure, dans un tourbillon produit en eau pure (*fig.* 2). Ce filet est alimenté au moyen d'un tube effilé placé dans le tourbillon en un point convenablement choisi pour décrire, à partir de ce point jusqu'à l'orifice en mince paroi, la partie du tourbillon qu'on désire. On voit, dans la figure 2, une période de 10 s environ des variations de ce filet, au cours de laquelle il change de diamètre.

Dans une autre expérience, nous observons le même filet d'aluminium seul dans une eau pure; on voit (*fig.* 3) et l'on vérifie par des mesures, que ce filet ne varie pas.

Cette dernière expérience montre, avec la plus grande netteté, que les variations dont nous parlons aujourd'hui ne se produisent pas avec l'aluminium mais seulement avec le colorant, et c'est là une remarque importante pour l'interprétation des phénomènes.

La même comparaison du colorant et de l'aluminium doit être faite, quand on emploie, au lieu d'un simple filet, le tourbillon tout entier.

Nous allons donc observer maintenant le tourbillon produit dans l'eau pure, dans laquelle on répand à la main, un très mince filet de colorant, en divers points de la surface libre, à l'amont de la plaque obstacle inclinée (*fig.* 1).

Les filets de colorant ne restent pas indépendants les uns des autres comme ceux d'aluminium, ils sont reliés par une mince couche de colorant, véritable surface immergée. La figure 4 *a-b* représente deux coupes verticales épaisses de 3 cm du même tourbillon obtenues, l'une avec l'aluminium, l'autre avec le colorant. On voit, dans la première, les filets d'alu-

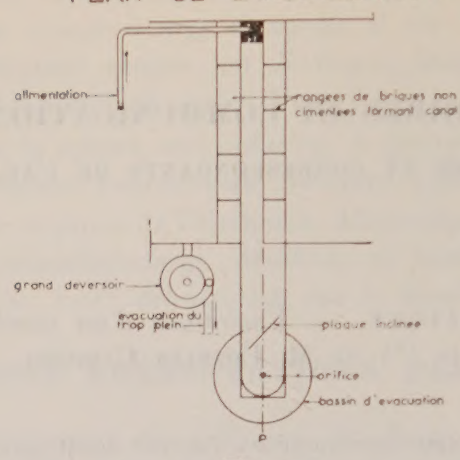


Fig. 1.



Fig. 12.

EXPLICATION DES FIGURES.

Fig. 1. — Alimentation. P plan de symétrie du système quand les briques du canal d'amenée décalé et la plaque inclinée sont enlevées.

Fig. 2. — Variations d'un filet de chlorure pendant une période d'environ 10 s.

Fig. 3. — Un filet d'aluminium constant.

Fig. 4. — *a.* Coupe verticale épaisse avec aluminium; *b.* Coupe verticale épaisse avec chlorure, on voit les surfaces.

Fig. 5. — *a.* Coupe verticale avec chlorure à comparer avec la figure 6; *b.* Surface libre du même tourbillon avec chlorure. Trace du plan vertical éclairé.

Fig. 6. — Coupe verticale avec aluminium à comparer avec la figure 5 *a*.

Fig. 7. — Coupe verticale avec chlorure dans laquelle une flèche indique le siège du frémissement.

Fig. 8 *a*, *b*, *c*. — Coupe verticale chlorure variations.

Fig. 9. — *a.* Coupe verticale chlorure; *b.* Coupe verticale fluorescéine (identité).

Fig. 10. — *a.* Coupe verticale chlorure; *b.* Coupe verticale orgeat (identité).

Fig. 11. — *a.* Coupe verticale chlorure; *b.* Coupe verticale fluorescéine (identité incomplètement réalisée).

Fig. 12. — Coupe verticale milieu homogène préparé à l'avance avec chlorure.

Fig. 3.

Fig. 2.

Fig. 5 *a*.

Fig. 4 *b*.

Fig. 4 *a*.

Fig. 7.

Fig. 6.

Fig. 5 *b*.

a *b* *c*

Fig. 8.

Fig. 9 *a*. Fig. 10 *a*. Fig. 11 *a*.

Fig. 9 *b*. Fig. 10 *b*. Fig. 11 *b*.

minium indépendants les uns des autres, dans la seconde, les surfaces qui se sont formées.

Dans la coupe verticale mince du tourbillon obtenu avec le colorant, (*fig.* 5*a*) on voit le dessin de l'intersection de ces surfaces par le plan vertical éclairé. C'est sur de pareilles coupes verticales que nous observons les variations du tourbillon. La figure 5*b* représente la surface libre du même tourbillon avec chlorure.

Au contraire, la coupe verticale mince du tourbillon obtenue avec l'aluminium seul (*fig.* 6) ne comprenant que les intersections des filets indépendants les uns des autres avec le plan vertical éclairé, c'est-à-dire des points, ne représente aucun dessin, et il sera par conséquent impossible d'y voir une variation de forme du tourbillon si elle se produit; mais, il suffirait de mesurer le tourbillon à divers moments par la chronophotographie de la surface libre pour constater qu'il reste constant comme nous l'avons déjà fait bien des fois dans les Notes précédentes.

La conclusion est donc la même pour le tourbillon complet que pour le filet seul : les variations ne se manifestent pas avec l'aluminium mais seulement avec le colorant.

Interrompons quelques instants notre exposé pour faire, au moyen des diverses figures, un examen sommaire de la structure du tourbillon comprenant en particulier : le noyau du tourbillon central, la zone de frémissement (*fig.* 7, flèche), les surfaces enroulées 16 fois autour de l'axe dans l'expérience actuelle et dont on compte le nombre de tours, en examinant leurs intersections successives, après chaque tour, avec le plan vertical éclairé et dans les diverses figures, la disposition très intéressante des enrobements du tourbillon central et du tourbillon extérieur [3]. Une partie du tourbillon manque, le colorant n'ayant pas pénétré jusqu'au bas du tourbillon. C'est un défaut que nous tenons à signaler, mais qui n'a pas grande importance dans notre description actuelle; on peut d'ailleurs compléter cet examen avec la figure 12 où la partie manquante figure.

Reprenons notre description. Pour observer correctement les variations, il faut évidemment partir toujours du même tourbillon type qu'on mesure avec l'aluminium seul, au début de chaque expérience, avant de mettre le colorant, pour bien vérifier que le tourbillon est toujours le même.

On réalise donc, à chaque expérience, les mêmes conditions initiales, le bassin étant équipé comme il est indiqué sur la figure 1.

Voici ces conditions : $h = 30$ mm, hauteur de la surface libre au-dessus du plan de l'orifice en mince paroi; $d = 5$ mm, diamètre de l'orifice; $q = 20$ cm^3/s, débit; $t = 10^\circ,7$.

La température est la seule condition qu'il est difficile de ramener à la même valeur; on se contente d'éliminer les expériences pour lesquelles elle différerait trop de la température moyenne choisie.

Il est d'ailleurs intéressant de savoir avec quelle précision on peut obtenir et reproduire un tourbillon, toujours le même, ayant la même intensité. Dans nos expériences la précision de la mesure est 1/120.

Les figures 8*a*, *b*, *c*; *fig.* 9*a*, *b*; *fig.* 10*a*, *b*; *fig.* 11*a*, *b*; représentent la coupe verticale du tourbillon obtenu avec le chlorure, à divers moments; on y voit les formes successives que prend le tourbillon au cours des variations.

En prolongeant suffisamment l'observation avec une alimentation convenable, on réalise le cycle des variations. Pour en déterminer la période approximative, on pointe, au cours des variations, sur un chronomètre, une forme caractéristique choisie comme point de repère, et l'on détermine l'époque où elle revient devant l'observateur. Cette période est en moyenne : 1 mn 15 s dans la présente expérience. Dans une autre série d'expériences, on a trouvé en choisissant un autre repère une période de 1 mn 20 s en moyenne. On est frappé de la précision avec laquelle les mêmes formes se reproduisent, au cours des variations, dans les diverses expériences, avec l'un ou l'autre des trois colorants.

Pour le montrer, on photographie, au cours des variations, la coupe verticale du tourbillon obtenu avec l'un des trois colorants à divers moments, quand elle est sur le point de prendre ou qu'elle vient de dépasser la forme caractéristique choisie, qu'on a déjà observée et photographiée avec un premier colorant, qui peut être le même que l'autre ou en différer. Parmi les photographies ainsi obtenues, on choisit celle qui est identique à la première (*fig.* 9*b*, *fig.* 10*b*) ou qui s'en rapproche le plus (*fig.* 11*b*).

C'est ainsi que nous avons obtenu :

fig. 9*a* obtenue avec le chlorure identique à la figure 9*b* obtenue avec la fluorescéine;

fig. 10*a* obtenue avec le chlorure identique à la figure 10*b* obtenue avec l'orgeat;

fig. 11*a* obtenue avec le chlorure diffère de la figure 11*b* obtenue avec la fluorescéine, la coïncidence n'ayant pas été complètement réalisée, etc.

Au lieu de répandre un mince filet de colorant, sur la surface libre avant l'expérience, et pendant l'expérience, on peut opérer avec un milieu coloré homogène préparé à l'avance; les figures obtenues sont nettes, mais moins accusées que les premières. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi le premier procédé. La figure 12 a été obtenue par ce second procédé. Les formes obtenues sont les mêmes que dans le premier cas.

Pour expliquer ces variations qui ne se manifestent pas avec l'aluminium, on peut dire que les particules des trois colorants sont beaucoup plus petites que celles d'aluminium et qu'elles tracent des mouvements eux-mêmes variables comme les mouvements browniens et que l'aluminium est incapable d'enregistrer. L'agglomération des filets [1], la for-

mation des surfaces (*voir* au début de la Note) montrent que ces mouvements ne sont pas exactement des mouvements browniens qui sont, comme on le sait, complètement indépendants du mouvement des particules voisines.

M. Monferran a remarqué que la période des variations d'un seul filet de chlorure change d'un jour à l'autre malgré la réalisation des mêmes conditions initiales.

(*) Séance du 2 mai 1960.

(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 30.

(2) *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 620.

(3) *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 331.

(4) *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 870.

HYDRAULIQUE. — *Manœuvres rythmiques dans le cas d'une cheminée déversante avec influence de la hauteur de chute (turbine) et sans pertes de charge. Extension au cas d'un débit d'apport.* Note de M. **Léopold Escande.**

Méthode théorique pour l'étude des manœuvres rythmiques provoquant le déversement maximal en tenant compte de la hauteur de chute et en négligeant les pertes de charge dans le cas d'un récepteur constitué par une turbine avec régulateur qu'il existe ou non un débit d'apport.

Dans une Note récente [1], nous avons étudié ce problème pour un seuil déversant horizontal de cote $A = aZ_*$ au-dessus du niveau statique et de longueur pratiquement infinie, dans le cas d'un récepteur constitué par un simple orifice.

Dans la présente Note, nous considérons le cas d'un récepteur muni d'une turbine avec régulateur dont l'action se traduit par les relations suivantes :

$$\frac{Q'}{Q_0} = 1 - \frac{Z}{H_0}, \qquad u = 1 - \frac{z}{h_0}.$$

En raisonnant comme dans le cas de l'orifice, on obtient aisément l'équation applicable, lorsque la turbine débite, pour un niveau dans la chambre inférieur à celui du seuil :

$$\frac{dz^2}{dt'^2} - \frac{2\pi}{h_0}\frac{dz}{dt'} + 4\pi^2 z = 0.$$

Le discriminant de l'équation caractéristique :

$$r^2 - \frac{2\pi}{h_0} r + 4\pi^2 = 0$$

qui a pour expression

$$\Delta' = \frac{\pi^2}{h_0^2}(1 - 4h_0^2)$$

est toujours négatif puisqu'on a $h_0 > 1$.

Les racines de l'équation caractéristique sont de la forme

$$\alpha \pm j\beta = \frac{\pi}{h_0} \pm j\frac{\pi}{h_0}\sqrt{4h_0^2 - 1},$$

avec

$$\alpha = \frac{\pi}{h_0}, \qquad \beta = \frac{\pi}{h_0}\sqrt{4h_0^2 - 1}.$$

On a donc, pour z, une expression de la forme

$$z = \mathrm{K}\, e^{\alpha t'} \sin(\beta t' + \varphi) = \mathrm{K}\, e^{\frac{\pi t'}{h_0}} \sin\left[\frac{\pi}{h_0}\sqrt{4h_0^2 - 1}\; t' + \varphi\right].$$

Les oscillations, s'il n'y avait pas de seuil déversant, seraient amplifiées,

ce qui était à prévoir, l'absence de pertes de charge rendant infinie la section limite de Thoma relative à la stabilité.

Du fait du déversoir, le problème se pose différemment et les oscillations demeurent finies, à l'intérieur de chaque cycle de manœuvres.

1. Nous partons du moment où le déversement s'achève, la turbine ne débitant pas.

Rien n'est changé au calcul précédent jusqu'à l'instant $t'_1 = t_1/T = 1/4$ où ϖ, négatif, étant maximal en valeur absolue, nous ouvrons instantanément le débit de la turbine, ce qui nous donne les conditions initiales suivantes, pour l'étude de la deuxième phase du mouvement :

$$z = 0, \qquad v = -(a+1).$$

2. En prenant pour nouvelle origine du temps l'instant de cette manœuvre, nous écrirons, comme pour l'orifice :

$$z = \mathrm{K}\, e^{\alpha t'} \sin(\beta t' + \varphi)$$

et le même calcul nous donne

$$z = -\frac{2\pi(a+1)}{\beta} e^{\alpha t'} \sin\beta t',$$

$$v = -\frac{a+1}{\beta} e^{\alpha t'} [\alpha \sin\beta t' + \beta \cos\beta t'],$$

avec les nouvelles valeurs obtenues pour α et β.

Le niveau descend jusqu'à la cote $z = z_m$, correspondant à l'instant où $v = 0$: on trouve, tous calculs faits, pour cet instant et pour z_m des valeurs suivantes :

$$t' = \frac{h_0}{\pi\sqrt{4h_0^2 - 1}} \operatorname{arctg}\left[-\sqrt{4h_0^2 - 1}\right] > 0,$$

$$z_m = -(a+1)\, e^{\frac{-1}{\sqrt{4h_0^2-1}} \operatorname{arctg} \sqrt{4h_0^2 - 1}}.$$

Compte tenu de l'équation de continuité :

$$\varpi = v + 1 - \frac{z}{h_0},$$

le maximum de ϖ correspond à l'instant t'_2 où l'on a

$$\frac{d\varpi}{dt'} = 0 \qquad \text{ou} \qquad \frac{dv}{dt'} - \frac{1}{h_0}\frac{dz}{dt'} = 0.$$

Cette condition donne, tous calculs faits :

$$\operatorname{tg}\beta t'_2 = \frac{2\beta(\alpha h_0 - \pi)}{(\beta^2 - \alpha^2)h_0 - 2\pi\alpha}.$$

Or,

$$\alpha h_0 - \pi = 0.$$

On a donc, comme dans le cas de l'orifice :

$$\operatorname{tg} \beta t'_2 = 0 \quad \text{ou} \quad \beta t'_2 = \pi,$$

l'expression de t'_2 devenant maintenant

$$t'_2 = \frac{\pi}{\beta} = \frac{h_0}{\sqrt{4h_0^2 - 1}}.$$

Les valeurs de z et v à l'instant t'_2 sont alors, puisque $\sin \beta t'_2 = 0$ et $\cos \beta t'_2 = -1$:

$$z_2 = 0, \qquad v_2 = (a+1)e^{\alpha t'_2} \qquad \text{avec} \quad \alpha t'_2 = \frac{\pi}{\sqrt{4h_0^2 - 1}}.$$

On ferme alors la turbine et, puisque $z = 0$, le débit Q_0 s'engouffre dans la chambre d'équilibre en créant une vitesse supplémentaire V_0.

Les conditions initiales, pour l'étude de la troisième phase du mouvement, sont donc :

$$z = 0, \qquad v = (a+1)e^{\alpha t'_2} + 1.$$

3. La turbine étant fermée, on se retrouve dans les mêmes conditions que pour l'orifice (mêmes équations générales et mêmes conditions initiales) de telle sorte que les expressions de z et v restent les mêmes ainsi que celles de $2\pi t'_3$ et de v_3, du moins tant qu'on n'explicite pas les valeurs de α, β et t'_2 :

$$\sin 2\pi t'_3 = \frac{a}{(a+1)e^{\alpha t'_2} + 1},$$

$$v_3 = \sqrt{[(a+1)e^{\alpha t'_2} + 1]^2 - a^2}.$$

La valeur de $\alpha t'_2$ est donnée maintenant par

$$\alpha t'_2 = \frac{\pi}{\sqrt{4h_0^2 - 1}}.$$

4. De la même façon, on voit que la durée du déversement θ et le volume déversé Ω_d sont donnés par les mêmes formules que pour l'orifice, $\alpha t'_2$ ayant maintenant la valeur que nous venons de rappeler.

La même conclusion s'applique au calcul de la durée totale de manœuvre.

5. Si l'on considère le cas où un débit Q_a est directement recueilli par la cheminée d'équilibre, le débit Q_0 du récepteur sous la charge M_0 demeurant inchangé, les seules modifications qui interviennent résultent de l'addition d'un terme constant dans l'équation de continuité.

Éliminé dans les dérivations qui permettent de mettre en évidence les expressions générales de z et de v, que le récepteur soit alimenté ou non, sans influence sur la détermination des conditions des maximums de $|w|$ qui déclenchent les manœuvres, ce débit d'apport Q_a, comme le montre un examen de détail que nous ne pensons pas nécessaire de reproduire ici,

n'apporte aucune modification aux résultats concernant z, φ, θ et Ω_d, son action se limitant à ϖ.

Dans le cas de l'orifice comme dans celui de la turbine, en l'absence de pertes de charge, les résultats obtenus en l'absence de débit d'apport pour l'instant de déclenchement des manœuvres d'ouverture ou de fermeture, pour l'amplitude des oscillations, pour la durée du déversement, pour le volume déversé et pour la durée totale du cycle de manœuvres, demeurent intégralement valables sans modification si une partie, d'ailleurs quelconque, du débit Q_0 est recueillie directement dans la cheminée d'équilibre au lieu de venir du réservoir amont par le canal d'amenée.

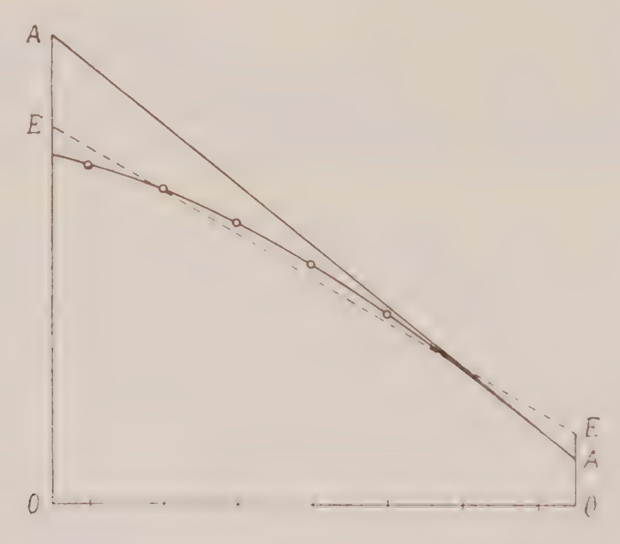
(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1801.

MÉCANIQUE. — *Vérification expérimentale de la théorie héréditaire des déformations plastiques.* Note (*) de M. **Gustavo Colonnetti**.

L'expérience que j'ai décrite dans ma Note précédente ([1]), expérience effectuée sur une poutre métallique simplement fléchie, appartenait à une série d'essais parmi lesquels nous avons été naturellement conduits à considérer le cas de la traction excentrée.

Voici la documentation d'un de ces essais qui se présente particulièrement significatif au point de vue du but que nous poursuivons : le contrôle des résultats de la théorie héréditaire des déformations plastiques.

La poutre, en cuivre électrolytique écroui — dans la partie centrale de laquelle avaient été pratiquées les fissures longitudinales destinées à rendre possible la mesure directe des déformations plastiques des différentes fibres — était, cette fois, sollicitée par une force parallèle à son axe géométrique.



La loi de la conservation des sections planes est rigoureusement vérifiée : le diagramme des déformations totales sous charge est représenté dans la figure par la droite AA.

Au moment du déchargement, s'annule évidemment la seule partie élastique des déformations. On a pu ainsi vérifier expérimentalement quel aurait été le diagramme des déformations en régime de parfaite élasticité. Ce diagramme est représenté dans la figure par la droite pointillée EE.

En réalisant la coupure des fibres dont j'ai parlé dans la Note précédente, avec la destruction des liens encore existant entre elles, tout état de coaction disparaît et les extensomètres enregistrent les déformations plastiques. Celles-ci sont reportées dans la figure en déduction des déformations totales, et désignées par des petits ronds.

Analytiquement, elles peuvent toujours s'exprimer (en fonction de la distance y de l'axe neutre) par une équation du type

$$\bar{\varepsilon} = K_2 y^2 + K_3 y^3 + K_4 y^4 + \ldots$$

dont les coefficients, dans le cas particulier (et à l'échelle adoptée dans la figure), ont les valeurs

$$K_2 = 0, \qquad K_3 = 0{,}036, \qquad K_4 = 0, \qquad \ldots.$$

On retrouve ainsi, réalisé expérimentalement, l'un des cas que j'avais signalés comme prévoyables dans ma Note sur l'élastoplasticité récemment parue dans *Pontificiæ Academiæ Scientiarum Scripta varia*, n° 19, 1960, p. 96 et 98.

La courbe qu'on vient ainsi de déterminer, rapportée à la fondamentale OO, nous donne la loi de répartition des déformations élastiques effectives, et donc des contraintes.

Son allure et sa position par rapport à la droite EE, étant tout à fait conforme aux conclusions auxquelles nous a conduit la théorie héréditaire des déformations plastiques (²), nous autorise à considérer cette théorie comme pleinement confirmée par l'expérience.

(*) Séance du 20 avril 1960.

(¹) *Comptes rendus*, 260, 1960, p. 2489.

(²) *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 376, 561, 840 et 897; 248, 1959, p. 2429 et 3670; 249, 1959, p. 599. *Ann. Inst. Techn. du Bâtiment et des Travaux Publics*, Paris, n° 142, 1959. *Pontificiæ Academiæ Scientiarum Scripta varia*, n° 19, 1960.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

ALGÈBRE. — *Sur la formation de matrices stochastiques ayant pour valeurs caractéristiques celles d'une matrice donnée.* Note de M. **Maurice Parodi**, présentée par M. Henri Villat.

Soit $A = (a_{ij})$ une matrice carrée d'ordre n, à éléments réels, dont les valeurs caractéristiques sont de module au plus égal à l'unité. Nous nous proposons d'indiquer un procédé permettant de construire un ensemble de matrices stochastiques d'ordre $n+1$, dont n valeurs caractéristiques sont égales à celles de A.

Considérons la matrice uniligne à n éléments réels positifs

$$x = (x_1 \; x_2 \; \ldots \; x_n),$$

et formons la matrice

$$A_1 = \begin{pmatrix} A & 0 \\ x & \mu \end{pmatrix}$$

où μ est un scalaire et 0 la matrice unicolonne à n éléments nuls. La matrice A_1 admet les valeurs caractéristiques de A et la valeur caractéristique μ.

Désignons par C la matrice unicolonne à n lignes dont les éléments sont égaux à l'unité et formons la matrice, évidemment régulière,

$$S = \begin{pmatrix} I & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

I étant la matrice unité d'ordre n. Son inverse s'écrit

$$S^{-1} = \begin{pmatrix} I & -C \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Envisageons alors la matrice

$$B = (b_{ij}) = SA_1S^{-1}$$

qui possède les valeurs caractéristiques de A et la valeur caractéristique μ.

Elle s'écrit

$$\begin{bmatrix} a_{11}+\alpha_1 & \dots & a_{1n}+\alpha_n & \mu-\sum_{k=1}^{n} a_{1k}-\sum_{k=1}^{n}\alpha_k \\ a_{21}+\alpha_1 & \dots & a_{2n}+\alpha_n & \mu-\sum_{k=1}^{n} a_{2k}-\sum_{k=1}^{n}\alpha_k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}+\alpha_1 & \dots & a_{nn}+\alpha_n & \mu-\sum_{k=1}^{n} a_{nk}-\sum_{k=1}^{n}\alpha_k \\ \alpha_1 & \dots & \alpha_n & \mu-\sum_{k=1}^{n}\alpha_k \end{bmatrix}$$

Donnons au paramètre μ la valeur *un;* alors

$$\sum_{j=1}^{n+1} b_{ij}=1, \qquad (i=1,\ 2,\ \dots,\ n+1).$$

Dans ces conditions, si l'on peut déterminer les n nombres réels positifs α_i, de manière que

$$a_{ij}+\alpha_j \geqq 0 \qquad (i,\ j=1,\ 2,\ \dots,\ n),$$

$$1-\sum_{k=1}^{n} a_{jk}-\sum_{k=1}^{n}\alpha_k \geqq 0, \qquad (j=1,\ 2,\ \dots\ n),$$

$$1-\sum_{k=1}^{n}\alpha_k \geqq 0,$$

la matrice B sera une matrice stochastique d'ordre $n+1$ admettant pour valeurs caractéristiques celles de A et la valeur caractéristique $+1$.

THÉORIE DES GROUPES. — *Les groupes quasi libres.*
Note (*) de Mlle **Sophie Piccard**, présentée par M. Paul Montel.

La notion de groupe quasi libre généralise celle de groupe libre, mais elle conduit à une famille beaucoup plus vaste de groupes dont on peut étudier la structure en leur associant un treillis distributif, modulaire de groupes abéliens possédant un élément nul et un élément universel.

1. Soit G un groupe multiplicatif dont 1 est l'élément neutre. Nous appelons *base* de G tout système *irréductible* A d'éléments générateurs de G, l'irréductibilité étant comprise en ce sens que, quel que soit le sous-ensemble fini A^* de A, il n'existe aucun sous-ensemble B de G, de puissance inférieure à celle de A^* et tel que tout élément de A^* puisse être obtenu par composition finie des éléments de B. On appelle *relation* entre des éléments de A toute égalité de la forme

$$f(a_1, a_2, \ldots, a_k) = 1, \tag{1}$$

dont le premier membre est une composition finie de certains éléments $a_1, a_2, \ldots, a_k$ de la base A et le second membre est l'élément neutre de G; soit ν_i le degré de cette composition par rapport à a_i ($i = 1, 2, \ldots, k$). Les éléments de toute base de G satisfont à certaines relations. Ainsi on a la relation $aa^{-1} = 1$ quel que soit $a \in A$. La relation (1) entre les éléments $a_1, \ldots, a_k$ de A est dite *triviale* si elle est une conséquence des axiomes de groupe. Le groupe G est libre si les éléments de sa base A ne sont liés que par des relations triviales. Nous disons qu'une relation (1) est *quasi triviale* si $f(a_1, \ldots, a_k)$ est de degré nul par rapport à tout élément de la base A, autrement dit si $\nu_i = 0$, $i = 1, 2, \ldots, k$, le degré de f étant par définition nul par rapport à tout élément de l'ensemble $A - \{a_1, \ldots, a_k\}$. Toute relation triviale entre les éléments de A est aussi quasi triviale. Nous disons que le groupe G est *quasi libre* s'il possède une base A dont les éléments ne sont liés que par des relations quasi triviales. Tout groupe libre est quasi libre, mais la réciproque n'est pas vraie et il existe une très grande variété de groupes quasi libres qui ne sont pas libres. En voici des exemples.

1° Soit E un ensemble dénombrable quelconque (par exemple l'ensemble des nombres entiers). Mettons à part un élément quelconque a_0 de G (le nombre 0) et décomposons l'ensemble $E - \{a_0\}$ en la réunion d'une infinité dénombrable d'ensembles dénombrables, disjoints deux à deux.

Soit $E = \bigcup_i E_i$ et soit $E_i = \{\ldots, a^i_{-3}, a^i_{-2}, a^i_{-1}, a^i_{+1}, a^i_{+2}, a^i_{+3}, \ldots\}$,

$i = 1, 2, \ldots$. Posons $a_i = (\ldots, a^i_{-3}, a^i_{-2}, a^i_{-1}, a_0, a^i_1\ a^i_2\ a^i_3, \ldots)$, $i = 1, 2, \ldots$. L'ensemble A des cycles infinis a_i engendre un groupe de transformations des éléments de l'ensemble E, dont il forme une base. Les éléments de A

sont liés par une infinité de relations non triviales. En effet, quels que soient les nombres naturels distincts i et j, on a $(a_i a_j a_i^{-1} a_j^{-1})^3 = 1$.

Or, toute relation $f(a_{i_1}, a_{i_2}, \ldots, a_{i_k}) = 1$ entre les éléments de la base considérée de G est nécessairement quasi triviale. En effet, comme deux cycles distincts de A ont en commun un seul élément, si f est de degré ν_j par rapport à a_{i_j}, il existe un entier positif N suffisamment grand et tel que tout élément de $a_n^{i_j}$ de a_{i_j} est transformé par f de la même façon que par $(a_{i_j})^{\nu_j}$, si $|n| > N$. Donc l'égalité $f = 1$ implique que $\nu_j = 0$, $j = 1, 2, \ldots, k$.

2° Plus généralement, quel que soit l'ensemble E, le groupe G de transformations des éléments de E engendré par un système S de transformations de E dont chacune contient au moins un cycle infini, deux transformations distinctes t_1 et t_2 de S jouissant de cette propriété qu'il existe dans t_i un cycle infini C_i ($i = 1, 2$), tel que les deux cycles C_1 et C_2 ont en commun au plus un nombre fini d'éléments, est quasi libre.

Il existe un groupe quasi libre engendré par deux éléments a et b assujettis à la seule condition que a et b^2 sont permutables, alors que a et b ne le sont pas, etc.

La famille des groupes quasi libres est extrêmement riche. On en trouve d'innombrables exemples dans les groupes de transformations.

Nous appelons élément quasi libre d'un groupe quasi libre G tout élément qui fait partie d'une base de G. Tout élément d'un groupe quasi libre n'est pas quasi libre. 1 n'est pas quasi libre. Tout élément quasi libre d'un groupe quasi libre est d'ordre infini. Si le groupe G n'est pas cyclique, quels que soient deux éléments a_i et a_j d'une même base $A = \{ a_\alpha \}$ de G, le produit $a_i^k a_j^l$ est d'ordre infini, quels que soient les entiers k et l, différents de zéro.

2. *Le treillis de groupes abéliens associés à un groupe quasi libre.* — Soit G un groupe multiplicatif quasi libre et soit $A = \{ a_\alpha \}$ une quelconque de ses bases. Nous allons répartir les éléments de G d'une infinité de façons en classes M et $M^{(n)}$ comme il suit : soit a un élément quelconque de G. Il peut être obtenu par composition finie des éléments de A et il possède un degré fixe ν_α par rapport à tout élément a_α de A, ce degré étant la somme des exposants de a_α dans toute composition finie d'éléments de A qui représente a. Soit n un entier quelconque $\geqq 2$. Nous disons que a est de classe $M\begin{pmatrix} a_\alpha \\ \nu_\alpha \end{pmatrix}_{a_\alpha \in A} \left[M^{(n)}\begin{pmatrix} a_\alpha \\ \mu_\alpha \end{pmatrix}_{a_\alpha \in A}\right.$, où μ_α est le nombre de la suite $0, 1, \ldots, n-1$, tel que $\nu_\alpha \equiv \mu_\alpha \pmod{n}$, quel que soit l'élément a_α de $\left.A\right]$.

Posons encore $M^1\begin{pmatrix} a_\alpha \\ 0 \end{pmatrix}_{a_\alpha \in A} = G$. On répartit ainsi d'une infinité de façons les éléments de G en classes d'égale puissance. Chacune de ces classes est infinie, si G n'est pas abélien et contient, avec tout élément a de G, la classe entière des éléments de G conjugués à a. On peut définir pour les classes M [$M^{(n)}$, $n = 1, 2, 3, \ldots$] une loi de composition commutative, en appe-

lant produit de deux telles classes l'ensemble des éléments de G qu'on peut mettre sous la forme de produit ab d'un élément a de la première de ces classes par un élément b de la seconde. Avec cette loi de composition, les classes $M\binom{a_\alpha}{\nu_\alpha}_{a_\alpha \in A}$ $\left[M^{(n)}\binom{a_\alpha}{\mu_\alpha}_{a_\alpha \in A}, n = 1, 2, 3, \ldots\right]$ forment un groupe abélien Γ $[\Gamma^{(n)}]$ dont l'élément neutre est la classe nulle $M\binom{a_\alpha}{0}_{a_\alpha \in A}$ $\left[M^{n}\binom{a_\alpha}{0}_{a_\alpha \in A}\right]$. Toutes ces classes nulles, en tant qu'ensembles d'éléments de G, sont des sous-groupes invariants distincts de ce groupe. Nous disons que les groupes abéliens Γ et $\Gamma^{(n)}$ sont associés au groupe quasi libre G. On peut ordonner partiellement cet ensemble comme suit. Quels que soient les nombres naturels k et l, nous disons que $\Gamma^{(k)} \subseteq \Gamma^{(l)}$ si k est un diviseur de l et nous disons que $\Gamma^{(k)} \subseteq \Gamma$, $k = 1, 2, \ldots$. On définira les opérations binaires de treillis pour l'ensemble T des groupes $\{\Gamma, \Gamma^{(1)}, \Gamma^{(2)}, \ldots\}$ comme suit. On appellera intersection de deux groupes $\Gamma^{(k)}$ et $\Gamma^{(l)}$ $[\Gamma^{(n)}$ et $\Gamma]$ le groupe $\Gamma^{D(k,l)}$ $[\Gamma^{(n)}]$ et l'on appellera union de $\Gamma^{(k)}$ et $\Gamma^{(l)}$ $[\Gamma^{(k)}$ et $\Gamma]$ le groupe $\Gamma^{m(k,l)}$ $[\Gamma]$, où $D(k, l)$ désigne le p. g. c. d. et $m(k, l)$, le p. p. c. m. des nombres k et l. Avec ces deux lois de composition, l'ensemble T des groupes abéliens associés à G est un treillis distributif, modulaire dont Γ^{1} est l'élément nul et Γ est l'élément universel. On peut utiliser ce treillis pour étudier la structure de G. On démontre sans peine que les classes M et $M^{(n)}$ en lesquelles on a réparti les éléments de G ont un caractère intrinsèque indépendant de la base A de G à partir de laquelle elles ont été définies. La plupart des résultats que nous avons établis pour les groupes libres (¹) peuvent être étendus aux groupes quasi libres. En particulier, on peut démontrer que tout groupe quasi libre à base infinie possède une infinité indénombrable de sous-groupes invariants et que, quel que soit le sous-groupe γ d'un des groupes du treillis T, la réunion des éléments de G qui font partie des classes M ou $M^{(n)}$ qui sont les éléments de γ est un sous-groupe invariant de G.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(¹) *Ann. scient. Éc. Norm. Sup.*, Paris, 76, 1959, p. 1-58.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur les représentations de certains groupes orthogonaux.* Note de M. **Jacques Dixmier**, transmise par M. Gaston Julia.

Soit π une représentation unitaire irréductible du groupe orthogonal pour la forme $x_1^2 + \ldots + x_{n-1}^2 - x_n^2$. La restriction de π au sous-groupe SO $(n-1)$ contient au plus 1 fois chaque représentation irréductible de ce sous-groupe. Pour $n = 5$, ceci permet de rendre rigoureuse la recherche des représentations unitaires irréductibles du groupe de De Sitter (1).

1. Le mot « représentation » sera pris au sens « représentation continue dans un espace de Banach complexe ». Rappelons qu'une représentation topologiquement irréductible d'un groupe compact est de dimension finie, et que la notion de représentation complètement irréductible (2) contient celle de représentation unitaire topologiquement irréductible dans un espace hilbertien.

Soient G un groupe de Lie réel connexe semi-simple admettant une représentation linéaire fidèle, K un sous-groupe compact maximal, G = HNK une décomposition d'Iwasawa de G (3), M la composante connexe du centralisateur de H dans K. Rappelons que K, H, N, M sont déterminés à un automorphisme intérieur près de G, et que HNM est un sous-groupe fermé de G.

Théorème 1. — *Soient ρ une représentation irréductible de* K, *et p un entier tel que toute représentation irréductible de* M *soit contenue au plus p fois dans* $\rho \mid$ M (restriction de ρ à M). *Alors ρ est contenue au plus p fois dans la restriction à* K *de toute représentation complètement irréductible de* G.

Lorsque G est complexe, M est un tore maximal de K, et l'on retrouve le théorème 3 de [SF]. Notre démonstration imite celle de [SF].

2. Un lemme. Soient T un groupe topologique, T′ un sous-groupe. Pour toute représentation σ' de T′ dans un espace de dimension finie V′, soit $\sigma = \mathrm{Ind}\,\sigma'$ la représentation de T induite par σ' au sens suivant : l'espace V de σ est l'espace des applications continues θ : T $\to$ V′ telles que $\theta(t' t) = \sigma'(t')\,\theta(t)$ pour $t' \in$ T′, $t \in$ T; et l'on pose $(\sigma(t)\,\theta)(t_1) = \theta(t_1 t)$ pour $t, t_1 \in$ T (4). Alors *toute représentation irréductible π de dimension finie de* T *est contenue dans une représentation de la forme* Ind σ', *où σ' est une représentation irréductible de dimension finie de* T′. En effet, soient W l'espace de π, σ' une représentation irréductible de T′ quotient de $\pi \mid$ T′, V′ l'espace de σ', ω l'application canonique W $\to$ V′, et V l'espace de $\sigma = \mathrm{Ind}\,\sigma'$. Pour tout $a \in$ W, soit θ_a : T $\to$ V′ définie par $\theta_a(t) = \omega(\pi(t)\,a)$. On vérifie aussitôt que $\theta_a \in$ V et que $a \to \theta_a$ est un isomorphisme du T-module W sur un sous-T-module de V.

3. *Démonstration du théorème* 1. — Le lemme précédent, et le lemme 5 de [SF] montrent que les représentations de G de la forme $\sigma = \mathrm{Ind}\,\sigma'$,

où σ' est une représentation irréductible de HNM dans un espace V' de dimension finie, constituent un système complet de représentations de G. L'espace V de σ s'identifie à l'espace des applications continues η : $K \to V'$ telles que $\eta(mk) = \sigma'(m)\,\eta(k)$ pour $m \in M$, $k \in K$; et l'on a $(\sigma(k)\,\eta)(k_1) = \eta(k_1 k)$ pour k, $k_1 \in K$; donc $\sigma \mid K$ est la représentation de K induite par $\sigma' \mid M$. Or σ' est scalaire sur HN, donc $\sigma' \mid M$ est irréductible ([RI], p. 186). Donc (réciprocité de Frobenius dans le cas compact) $\sigma \mid K$ contient ρ autant de fois que $\rho \mid M$ contient σ', donc au plus p fois. Il suffit alors d'appliquer le lemme 4 de [SF].

4. Considérons le groupe des automorphismes de R^n, $n \geq 3$, conservant $x_1^2 + \ldots + x_{n-1}^2 + x_n^2$ (resp. $x_1^2 + \ldots + x_{n-1}^2 - x_n^2$). Soit SO ($n$) [resp. SO' ($n$)] la composante connexe de ce groupe. Le groupe

$$SO(n) \cap SO'(n) = SO(n-1)$$

est un sous-groupe compact maximal de SO' (n).

Théorème 2. — *Une représentation irréductible de* SO (n — 1) *est contenue au plus* 1 *fois dans la restriction à* SO (n — 1) *de toute représentation complètement irréductible de* SO (n) *ou* SO' (n) (5).

Soient $\mathfrak{g}_n$, $\mathfrak{g}'_n$ les algèbres de Lie de SO (n), SO' (n). Il existe des groupes G_n, G'_n localement isomorphes à SO (n), SO' (n), et tels que : *a*. toute représentation de dimension finie de $\mathfrak{g}_n$ (resp. $\mathfrak{g}'_n$) s'étend à G_n (resp. G'_n); *b*. G_n (resp. G'_n) est un recouvrement d'ordre 2 de SO (n) [resp. SO' (n)] [c'est même le groupe de recouvrement universel, sauf dans le cas de SO' (3)]. Soit F_n (resp. F'_n) l'image réciproque de SO (n — 1) dans G_n (resp. G'_n); c'est un sous-groupe fermé connexe de G_n (resp. G'_n), et F'_n est compact maximal dans G'_n; les algèbres de Lie $\mathfrak{f}_n$, $\mathfrak{f}'_n$ de F_n, F'_n s'identifient à l'algèbre de Lie de SO (n — 1). Donc $F'_n \approx G_{n-1}$. Considérons les assertions suivantes :

A_n (resp. A'_n) : une représentation irréductible de F_n (resp. F'_n) est contenue au plus 1 fois dans la restriction à F_n (resp. F'_n) d'une représentation complètement irréductible de G_n (resp. G'_n).

B_n (resp. B'_n) : une représentation irréductible de dimension finie de $\mathfrak{f}_n$ (resp. $\mathfrak{f}'_n$) est contenue au plus 1 fois dans la restriction à $\mathfrak{f}_n$ (resp. $\mathfrak{f}'_n$) de toute représentation irréductible de $\mathfrak{g}_n$ (resp. $\mathfrak{g}'_n$).

Les assertions A_n, A'_n contiennent le théorème 2. On connaît A'_3, qui résulte d'ailleurs du théorème 1 appliqué à G'_3 (car le groupe K est alors abélien). Il nous suffit donc de prouver que $A'_n \Rightarrow B'_n \Rightarrow B_n \Rightarrow A_n \Rightarrow A'_{n+1}$. Or $A'_n \Rightarrow B'_n$ et $B_n \Rightarrow A_n$ sont clairs, et $B'_n \Rightarrow B_n$ s'obtient par le « unitary trick » de Weyl. Comme G'_{n+1} admet une représentation linéaire fidèle (spinorielle), on peut appliquer le théorème 1 avec $G = G'_{n+1}$, $K = F'_{n+1} \approx G_n$. Dans une décomposition d'Iwasawa de SO' (n + 1), on peut prendre pour sous-groupe abélien les rotations hyperboliques conservant $x_1, \ldots, x_{n-1}$; son centralisateur dans SO (n) est SO (n — 1). Donc dans une décom-

position d'Iwasawa $G'_{n+1} = HNK$ de G'_{n+1}, on peut choisir H de façon que le centralisateur de H dans K ait pour algèbre de Lie $\mathfrak{k}'_{n-1}$. Ainsi, le couple (K, M) relatif à $G = G'_{n+1}$ est isomorphe au couple (G_n, F_n). D'après le théorème 1, $A_n \Rightarrow A'_{n+1}$.

(1) L. H. Thomas, *Ann. Math.*, 42, 1941, p. 113.

(2) R. Godement, *Trans. Amer. Math. Soc.*, 73, 1952, p. 496. Cité [SF] dans la suite.

(3) F. Bruhat, *Bull. Soc. Math. Fr.*, 84, 1956, p. 97. Cité [RI] dans la suite. On utilise les notations des pages 182-186.

(4) V n'est pas toujours un espace de Banach, mais le sera dans l'application du lemme faite plus loin.

(5) Soit ν la représentation (irréductible) de SO (n) dans l'espace des polynomes harmoniques de degré k à n variables. B. Kostant a déterminé explicitement les composantes irréductibles de $\nu \mid$ SO $(n-1)$, d'où le théorème 2 dans ce cas. D'autre part, B. Kostant m'a fait remarquer que la méthode employée ici s'applique à la situation analogue dans le cas unitaire.

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE. — *T-structures sur les variétés différentiables.*
Note (*) de M. **Gilles Legrand**, présentée par M. Joseph Pérès.

Définition des T-structures. Connexions infinitésimales associées. Définition et propriétés de la classe de cohomologie caractéristique. Étude du cas réel.

1. Nous dirons qu'une variété différentiable V_m est munie d'une *T-structure* si l'on a défini sur elle un champ différentiable S de n-plans tangents complexes. Au point $x \in V_m$, nous désignerons par T_x l'espace vectoriel tangent à V_m, par $T^{\mathbf{C}}_x$ son complexifié et par S_x le sous-espace de $T^{\mathbf{C}}_x$ qui appartient au champ S (dim $S_x = n < m$).

Une base de S_x sera appelée une *S-base* relative à x. Une base de $T^{\mathbf{C}}_x$ dont les n premiers vecteurs constituent une S-base sera dite *adaptée* à la T-structure (S).

Soit H $(m, n; \mathbf{C})$ le sous-groupe de GL $(m, \mathbf{C})$ constitué par les matrices régulières (A^i_j) telles que $A^A_\alpha = 0$ (i et tout indice minuscule latin $= 1, \ldots, m$; α et tout indice grec $= 1, \ldots, n$; A et tout indice majuscule latin $= n + 1, \ldots, m$). L'ensemble $E_S(V_m)$ [resp. $\hat{E}_S(V_m)$] des S-bases (resp. bases adaptées) relatives aux différents points de V_m admet une structure naturelle d'espace fibré principal de base V_m, de groupe structural GL $(n, \mathbf{C})$ [resp. H $(m, n; \mathbf{C})$].

Nous dirons que deux T-structures (S_1) et (S_2) données sur V_m sont *supplémentaires* si, en chaque point x, $S_{1,x}$ et $S_{2,x}$ sont deux sous-espaces supplémentaires de $T^{\mathbf{C}}_x$. La donnée de deux T-structures supplémentaires revient à celle d'une H-structure (¹); nous dirons que celle-ci est *subordonnée* à chacune des T-structures (S_1) et (S_2). Étant donné une T-structure, il existe toujours une H-structure subordonnée.

2. Nous appellerons *S-connexion* (resp. *Ŝ-connexion*) toute connexion infinitésimale sur $E_S(V_m)$ [resp. $\hat{E}_S(V_m)$]. Une Ŝ-connexion détermine canoniquement une connexion linéaire complexe [au sens de (²)] avec laquelle nous l'identifierons. Inversement, donnons-nous une connexion linéaire complexe, définie localement par rapport à des bases adaptées par (ω^i_j), où ω^i_j est une forme de Pfaff locale à valeurs complexes; (ω^A_α) définit sur $\hat{E}_S(V_m)$ une 1-forme tensorielle, dont la nullité est la condition nécessaire et suffisante pour que la connexion puisse être identifiée à une Ŝ-connexion. Nous dirons brièvement d'une telle connexion linéaire qu'elle est *permise* pour la T-structure (S) (²). En particulier, toute H-connexion [au sens de (¹)] relative à une H-structure subordonnée à la T-structure (S) est permise.

Une connexion linéaire permise (ω^i_j) *induit* une S-connexion (ω^α_β). Inversement, on peut toujours trouver une connexion linéaire permise induisant une S-connexion donnée.

3. La *courbure* d'une S-connexion (ω^α_β) est la 2-forme tensorielle (Ω^α_β) sur $E_S(V_m)$, à valeurs dans l'algèbre de Lie de GL (n, C), de type « représentation adjointe », définie par $\Omega^\alpha_\beta = d\omega^\alpha_\beta + \omega^\alpha_\gamma \wedge \omega^\gamma_\beta$. La 2-forme ψ, à valeurs complexes, définie sur V_m par $\psi = \Omega^\alpha_\alpha = d\omega^\alpha_\alpha$ sera appelée la *forme caractéristique* de la S-connexion. C'est une forme fermée, qui possède les propriétés suivantes [*cf.* (¹)] :

THÉORÈME 1. — *Les formes caractéristiques de toutes les S-connexions appartiennent à une même classe de cohomologie.*

Cette classe sera appelée *classe caractéristique* de la T-structure (S).

Inversement *toute 2-forme fermée appartenant à la classe caractéristique est la forme caractéristique d'une S-connexion.* Car, si ψ désigne la forme caractéristique d'une S-connexion donnée (ω^α_β), la S-connexion $(\tilde{\omega}^\alpha_\beta)$ définie par $\tilde{\omega}^\alpha_\beta = \omega^\alpha_\beta + (1/n)\,\delta^\alpha_\beta\varphi$, où φ est une 1-forme arbitraire et δ^α_β le symbole de Kronecker, a pour forme caractéristique $\tilde{\psi} = \psi + d\varphi$.

THÉORÈME 2. — *Les classes caractéristiques de deux T-structures supplémentaires sont opposées.*

THÉORÈME 3. — *Pour que la forme caractéristique d'une S-connexion soit nulle, il faut et il suffit que le groupe d'holonomie restreint de la connexion soit sous-groupe de* SGL (n, C), *groupe des matrices unimodulaires de* GL (n, C).

Nous dirons qu'un champ S définissant une T-structure est *orientable* si $E_S(V_m)$ admet un sous-espace fibré principal $E^+_S(V_m)$ dont le groupe structural soit le sous-groupe $GL^+(n, C)$ de GL (n, C) constitué par les matrices à déterminant réel positif. Donnons-nous alors sur V_m une métrique riemannienne définie positive. L'ensemble $E_1(V_m)$ des S-bases qui appartiennent à $E^+_S(V_m)$ et qui sont en outre orthonormées pour la métrique constitue un sous-espace fibré principal de $E_S(V_m)$, de groupe structural SU (n). Toute connexion infinitésimale sur $E_1(V_m)$ peut être identifiée à une S-connexion, dont le groupe d'holonomie en tout point de $E_S(V_m)$ est contenu dans SGL (n, C). La classe caractéristique de la T-structure est donc nulle.

Inversement, supposons nulle la classe caractéristique et choisissons une S-connexion dont la forme caractéristique soit nulle (il en existe d'après la réciproque du théorème 1). Supposons de plus V_m simplement connexe. L'ensemble des S-bases déduites d'une S-base z_0 fixée au point $x_0 \in V_m$ par transport le long des divers chemins de V_m issus de x_0, relativement à cette connexion, admet une structure naturelle de sous-espace fibré principal de $E_S(V_m)$, dont le groupe structural (groupe d'holonomie de la connexion en z_0) est sous-groupe de SGL (n, C), donc sous-groupe de $GL^+(n, C)$. On en déduit que le champ S est orientable.

Nous énoncerons :

THÉORÈME 4. — *Pour que la classe caractéristique d'une T-structure (S) définie sur une variété différentiable V_m soit nulle, il suffit que le champ S soit orientable. Cette condition est nécessaire si V_m est simplement connexe.*

4. Nous supposons maintenant que V_m est munie d'une T-structure

réelle, c'est-à-dire que l'on a défini sur elle un champ différentiable S de n-plans tangents réels. On peut alors reprendre ce qui précède en n'introduisant que des éléments réels (bases, connexions linéaires, formes, classes de cohomologie). En particulier, les formes caractéristiques des S-connexions réelles sont des formes réelles, qui satisfont aux théorèmes 1 et 3 [où l'on remplace GL (n, C) par GL (n, R)].

Donnons-nous de plus sur V_m une structure de variété proprement riemannienne (métrique définie positive) et une connexion linéaire *euclidienne* relativement à cette structure, c'est-à-dire [suivant la terminologie de ([2])] telle que la différentielle absolue du tenseur métrique (g_{ij}) soit nulle. (Ω^i_j) étant la forme de courbure de la connexion, les composantes covariantes $\Omega_{ij} = g_{ih}\,\Omega^h_j$ sont alors antisymétriques. Si la connexion est en outre permise pour la T-structure, les composantes (Ω^λ_α) relatives à une base adaptée sont nulles. On en déduit, en désignant par $(g'^{\alpha\beta})$ la matrice inverse de $(g_{\alpha\beta})$,

$$\Omega^\alpha_\alpha = g'^{\alpha\beta} g_{\beta\gamma}\,\Omega^\gamma_\alpha = g'^{\alpha\beta}\,\Omega_{\beta\alpha} = -g'^{\beta\alpha}\,\Omega_{\beta\alpha} = 0.$$

THÉORÈME 5. — *Sur une variété proprement riemannienne munie d'une T-structure réelle* (S), *pour que la forme caractéristique d'une S-connexion soit nulle, il suffit que celle-ci soit induite par une connexion linéaire permise euclidienne.*

Il existe toujours de telles connexions linéaires, par exemple la II-connexion induite [au sens de ([1])] par la connexion riemannienne, relativement à la II-structure déterminée par le champ S et le champ orthogonal ([4]). On en déduit :

THÉORÈME 6. — *La classe caractéristique de toute T-structure réelle est nulle.*

Ceci est lié à l'orientabilité (au sens du paragraphe 3, où l'on remplace les éléments complexes par des éléments réels) des champs de n-plans tangents réels ($n \leq m$).

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) G. LEGRAND, *Rend. Circ. Mat.*, Palerme, 7 et 8, 1958-1959.

([2]) A. LICHNEROWICZ, *Théorie globale des connexions et des groupes d'holonomie*, Rome, 1955.

([3]) La définition et certaines propriétés des connexions linéaires permises se généralisent lorsqu'on cherche à définir, à partir d'une connexion infinitésimale sur un espace fibré principal $\mathcal{E}$, une connexion infinitésimale sur un sous-espace fibré principal de $\mathcal{E}$.

([4]) L'existence d'une connexion linéaire permise euclidienne résulte aussi de A. ARAGNOL, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 339. Les S-connexions réelles sont les C-connexions de cet auteur.

CALCUL NUMÉRIQUE. — *Intégration numérique des équations intégro-différentielles du type Volterra.* Note (*) de M. **Pierre Pouzet**, présentée par M. Joseph Pérès.

La similitude du comportement des équations intégrales de seconde espèce du type de Volterra et des équations différentielles ([1]) dans l'avancement d'un pas au moyen de la méthode de Runge Kutta nous conduit à étendre cette méthode d'intégration numérique aux équations intégro-différentielles du type de Volterra :

$$\varphi^{(p)}(x) = \mathrm{F}[x, \varphi(x), \varphi'(x), \ldots, \varphi^{(p-1)}(x)] + \int_{x_0}^{x} \mathrm{G}[x, s, \varphi(s), \ldots, \varphi^{(p)}(s)]\, ds,$$

où φ, φ', ..., $\varphi^{(p-1)}$ sont données en x_0, F et G étant régulières.

Nous adoptons les notations de la précédente Note conformes à celles de M. Kuntzmann sur les équations différentielles auxquelles nous renverrons ([1]).

L'étude du cas $p = 1$ pour passer de x_0 à $x_0 + h$ au moyen des formules :

pour $\alpha = 1, 2, \ldots, q$:

$$z_\alpha(x_0) = \mathrm{F}[x_0 + \theta_\alpha h, \varphi_\alpha(x_0)] + h \sum_{\beta=0}^{\alpha-1} \mathrm{B}_{\alpha\beta} \mathrm{G}[x_0 + \theta_\alpha h, x_0 + \theta_\beta h, \varphi_\beta(x_0), z_\beta(x_0)],$$

$$\varphi_\alpha(x_0) = \varphi(x_0) + h \sum_{\beta=0}^{\alpha-1} \mathrm{A}_{\alpha\beta} z_\beta(x_0);$$

pour $\alpha = 0$,

$$z_0(x_0) = \mathrm{F}[x_0, \varphi_0(x_0)], \qquad \varphi_0(x_0) = \varphi(x_0),$$

avec

$$\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} \mathrm{A}_{\alpha\beta} = \theta_\alpha, \qquad \sum_{\beta=0}^{\alpha-1} \mathrm{B}_{\alpha\beta} = \theta_\alpha,$$

montre que si l'on choisit $\mathrm{A}_{\alpha\beta} = \mathrm{B}_{\alpha\beta}$ on obtient comme équations déterminant les coefficients, celles qui ont été trouvées pour les équations intégrales et qui traduisent les conditions nécessaires pour que $z_q(x_0)$ et $\varphi_q(x_0)$ soient des approximations d'ordre q de $\varphi'(x_0 + h)$ et $\varphi(x_0 + h)$ respectivement.

Dans le cas général on a les formules d'intégration suivantes :

Pour $r \geqq 0$ et $\alpha = 1, 2, \ldots, q$:

$$\begin{aligned}\varphi_\alpha^{(p)}(x_r) = {} & \mathrm{F}_r[x_r + \theta_\alpha h, \varphi_\alpha(x_r), \ldots, \varphi_\alpha^{(p-1)}(x_r)] \\ & + h \sum_{\beta=0}^{\alpha-1} \mathrm{A}_{\alpha\beta} \mathrm{G}[x_r + \theta_\alpha h, x_r + \theta_\beta h, \varphi_\beta(x_r), \ldots, \varphi_\beta^{(p)}(x_r)],\end{aligned}$$

$$\varphi_\alpha^{(p-1)}(x_r) = \varphi_q^{(p-1)}(x_{r-1}) + h\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} A_{\alpha\beta}\,\varphi_\beta^{(p)}(x_r),$$

$$\varphi_\alpha^{(p-2)}(x_r) = \varphi_q^{(p-2)}(x_{r-1}) + h\,\theta_\alpha\,\varphi_q^{(p-1)}(x_{r-1}) + \frac{h^2}{2}\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} B_{\alpha\beta}\,\varphi_\beta^{(p)}(x_r),$$

$$\varphi_\alpha^{(p-3)}(x_r) = \varphi_q^{(p-3)}(x_{r-1}) + h\,\theta_\alpha\,\varphi_q^{(p-2)}(x_{r-1}) + \frac{h^2}{2}\,\theta_\alpha^2\,\varphi_q^{(p-1)}(x_{r-1})$$
$$+ \frac{h^3}{3\,!}\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} C_{\alpha\beta}\,\varphi_\beta^{(p)}(x_r),$$

$$\varphi_\alpha^{(p-k)}(x_r) = \varphi_q^{(p-k)}(x_{r-1}) + \ldots + \frac{h^{k-1}}{(k-1)\,!}\,\theta_\alpha^{k-1}\,\varphi_q^{(p-1)}(x_{r-1})$$
$$+ \frac{h^k}{k\,!}\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} H_{\alpha\beta}^{(k)}\,\varphi_\beta^{(p)}(x_r) \qquad (k = 4, 5, \ldots, p),$$

avec

$$\varphi_0^{(p-k)}(x_r) = \varphi_q^{(p-k)}(x_{r-1}) \qquad \text{pour} \quad k = 0, 1, \ldots, p \qquad \text{et} \qquad r \geqq 1;$$
$$\varphi_0^{(p-k)}(x_0) = \varphi_q^{(p-k)}(x_{-1}) = \varphi^{(p-k)}(x_0) \qquad \text{pour} \quad k = 1, \ldots, p;$$
$$\varphi_0^{(p)}(x_r) = F_r[x_r, \ldots, \varphi^{(p-1)}(x_r)],$$

où F_r est définie par

$$F_r[x, \varphi, \ldots, \varphi^{(p-1)}] = F[x, \varphi, \ldots, \varphi^{(p-1)}]$$
$$+ h\sum_{j=0}^{r-1}\sum_{\beta=0}^{q'} B_\beta\, G[x, x_j + \theta_\beta h, \varphi_\beta(x_j), \ldots, \varphi_\beta^{(p)}(x_j)] \qquad \text{pour} \quad r \geqq 1$$

et

$$F_0[x, \varphi, \ldots, \varphi^{(p-1)}] = F[x, \varphi, \ldots, \varphi^{(p-1)}].$$

Les équations déterminant θ_α, $A_{\alpha\beta}$, $B_{\alpha\beta}$, $C_{\alpha\beta}$, $H_{\alpha\beta}^{(k)}$ et les discussions relatives à l'optimisation des formules sont les mêmes que pour les équations différentielles. q' et B_β sont déterminés comme il a été dit dans la précédente Note.

Dans ces conditions, $\varphi_q^{(p)}(x_r)$, $\varphi_q^{(p-1)}(x_r)$ sont des approximations d'ordre q de $\varphi^{(p)}(x_r + h)$, $\varphi^{(p-1)}(x_r + h)$, respectivement, $\varphi_q^{(p-k)}(x_r)$ étant une approximation d'ordre $\leqq q + k - 1$ de $\varphi^{(p-k)}(x_r + h)$ $(k = 2, 3, \ldots, p)$.

(*) Séance du 4 avril 1960.

(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3101.

PROGRAMMES LINÉAIRES. — *Recherches concernant la résolution des problèmes de programmation linéaire.* Note de M. **Maurice Peuchot**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans cette méthode de résolution des programmes linéaires le cheminement du point programme est guidé par un potentiel logarithmique.

Position du problème. — On sait que la recherche de la solution optimale d'un problème de programmation linéaire peut s'interpréter géométriquement par la recherche d'un sommet d'un polyèdre de l'espace à n dimensions E^n.

Soient H_i les hyperplans formant ce polyèdre. Les relations définissant le programme linéaire sont alors, en explicitant par rapport aux variables d'écart :

$$x_i = b_i + \overrightarrow{\text{grad}\, H_i} \cdot \vec{X} \qquad (i = 1, \ldots, n+m); \tag{1}$$

où $b_i = 0$, $\overrightarrow{\text{grad}\, H_i} = e_k$ si $i \leq n$, X un point de E^n ($\{\vec{e}_k\}$ référentiel unitaire de E^n); X est une solution si l'on a $x_i \geq 0$, quel que soit i. C'est, de plus, la solution optimale si

$$\Omega = \overrightarrow{\text{grad}\, H_{n+m+1}} \cdot \vec{X} \tag{2}$$

et maximale ou minimale, H_{n+m+1} étant la fonction de préférence.

Si $i \leq n$, les relations (1) définissent les hyperplans de coordonnées.

Si $i > n$, les H_i sont alors des « contraintes » du problème.

Le domaine $\mathcal{D}$. — Chacune des relations $x_i > 0$ définit une région Δ_i de E^n. On définit alors le domaine ouvert $\mathcal{D}$:

$$\mathcal{D} = \bigcap_{i=1}^{n+m} \Delta_i.$$

$\mathcal{D}$ est alors le domaine des solutions acceptables : si $X \in \mathcal{D}$, les x_i sont tous positifs.

Le domaine $\mathcal{D}$, qui est aussi défini par les relations (1), possède une propriété utile. Soit en effet un point $X \in \Delta_r$ par exemple. Alors le point Y, obtenu par la translation

$$\vec{Y} = \vec{X} + \lambda\, \overrightarrow{\text{grad}\, H_r} \qquad (\lambda > 0)$$

appartient encore à Δr.

On a, en effet,

$$y_r = b_r + \overrightarrow{\text{grad}\, H_r} \left(\vec{X} + \lambda\, \overrightarrow{\text{grad}\, H_r}\right)$$

ou encore

$$y_r = x_r + \lambda A^2$$

et, par conséquent,

$$y_r > 0.$$

On peut donc énoncer : les gradients des hyperplans H_r sont orientés vers l'intérieur de ϖ.

Description de la méthode. — Soit X^t une solution acceptable, et soit H'_{n+m+1} l'hyperplan parallèle à H_{n+m+1} et tel que

$$\varepsilon = -\Omega^t + \overrightarrow{\operatorname{grad} H_{n+m+1}} \cdot \overrightarrow{X}$$

ε étant très petit par rapport à l'unité et positif. C'est en quelque sorte la variable d'écart du point X par rapport à la nouvelle contrainte considérée. ε étant positif, nous avons vu que X appartient alors au domaine

$$\varpi_p = \varpi \cap \Delta'_{n+m+1}.$$

Le domaine ϖ_p contient un point infiniment voisin du sommet optimal car $\overrightarrow{\operatorname{grad} H_{n+m+1}}$ est le sens d'optimisation de Ω.

Considérons alors le potentiel logarithmique proposé par le Professeur Ragnar Frisch dans sa méthode du double gradient :

$$P = \sum^{n+m+1} \log x_i.$$

Par X^t passe une surface équipotentielle d'équation : $P^t = P$.

Il existe alors un point M_p de ϖ_p où le potentiel défini est maximal.

Nous atteindrons ce point par l'algorithme suivant :

$$\overrightarrow{\Pi^t} = \overrightarrow{\operatorname{grad}_{x^t} P^t}.$$

Le potentiel P varie suivant $\overrightarrow{\Pi^t}$ selon la formule

$$P(\zeta) = \sum_i \log(x_i^t + \zeta \Pi_i^t).$$

Il est maximal sur le support de $\overrightarrow{\Pi^t}$ au point ζ_0 tel que

$$\frac{dP(\zeta)}{d\zeta} = 0,$$

équation qu'on sait résoudre facilement.

La racine ζ_0 de cette équation nous fournira le point

$$\overrightarrow{X^{t+1}} = \overrightarrow{X^t} + \zeta_0 \overrightarrow{\Pi^t},$$

d'où $\overrightarrow{\Pi^{t+1}}$, etc.

Le champ qui dérive du potentiel s'annule en M_p. Par conséquent, on

pourra approcher M_p d'aussi près qu'on voudra. Il suffira que la relation suivante soit vérifiée,

$$\sum_{1}^{n+m+1} |\Pi_i| \leq \eta.$$

Soit alors le domaine $\varpi_{p+1} \subset \varpi_p$ tel que

$$\varpi_{p+1} = \varpi \cap \Delta^{M_p}_{n+m+1}.$$

Nous rechercherons alors le point M_{p+1} de potentiel maximal. On démontre facilement qu'on a

$$\Omega M_{p+1} > \Omega M_p.$$

On peut accélérer la convergence en effectuant le déplacement

$$\overrightarrow{X^t} = \overrightarrow{M_{p+q}} + \psi\left(\overrightarrow{M_{p+q+1}} - \overrightarrow{M_{p+q}}\right).$$

ψ prenant la plus grande valeur positive possible afin qu'on ait $X^t \subset \varpi$.

L'algorithme qui précède constitue un cycle qu'on répétera autant de fois que nécessaire.

Fin de calcul. — Si petit que soit ε, on aura au $P^{\text{ième}}$ cycle :

$$\Omega M_p > \Omega X^t.$$

Cette rupture de monotonie de la fonction de préférence peut servir de test d'arrêt des calculs.

Résultats pratiques. — Cette méthode, programmée sur ordinateurs IBM 704 et IBM 650, a donné des résultats très encourageants pour la quinzaine de problèmes traités.

MÉCANIQUE DES SOLIDES. — *Extension du principe d'Huygens à un milieu discontinu : le solide considéré comme agrégat d'atomes.* Note (*) de **M. Pierre Boulet**, présentée par M. Louis de Broglie.

[illegible]

Onde primaire. — Considérons un solide dont chaque atome n'exerce d'action sur ses voisins que s'ils sont, de lui, à une distance plus petite que R. Si, à partir d'un certain instant jusqu'où les atomes sont restés en repos, on applique des forces extérieures à certains d'entre eux, tous à distance finie, un déplacement de ces atomes se produira bientôt suivi de celui des atomes voisins. Les forces extérieures appliquées sont les sources primaires. L'ensemble des mouvements atomiques qu'elles provoquent (mouvements primaires) est la perturbation primaire. La théorie générale des ondes montre que celles-ci se propagent toujours à vitesse finie. La perturbation engendrée a donc un front d'onde au-delà duquel tous les atomes sont encore au repos et en deçà duquel ils ont amorcé leurs mouvements. Par rapport à deux surfaces fermées σ et σ_1 ne se coupant pas et enveloppant les sources primaires (*fig.* 1), les trajectoires primaires se classent en neuf catégories suivant la position de départ de l'atome considéré et suivant qu'elles sont entièrement tracées dans la même région que leur origine ou qu'elles traversent une ou deux des surfaces σ et σ_1 (*fig.* 2).

Nous bornant aux cas où les mouvements primaires sont vibratoires, tous les points des trajectoires sont à distance finie de leur origine. Si σ et σ_1 sont suffisamment écartées l'une de l'autre, les trajectoires de types I_3, II_3, III_1 de la figure 2 pourront ne pas exister alors que celles de types I_2, II_1, II_2, III_2 existeront toujours (car certains atomes, dans leurs positions normales, sont distants de σ et σ_1 de moins d'une distance interatomique, alors que les amplitudes des vibrations d'une onde élastique sont en général plus grandes.

Onde secondaire. — Associée à une perturbation primaire et à deux surfaces σ et σ_1 définies comme ci-dessus, nous la définissons par trois conditions :

1° Tous les atomes ayant leur position de repos dans la région I y sont maintenus fixes.

2° Aucun atome ne pénètre dans la région I.

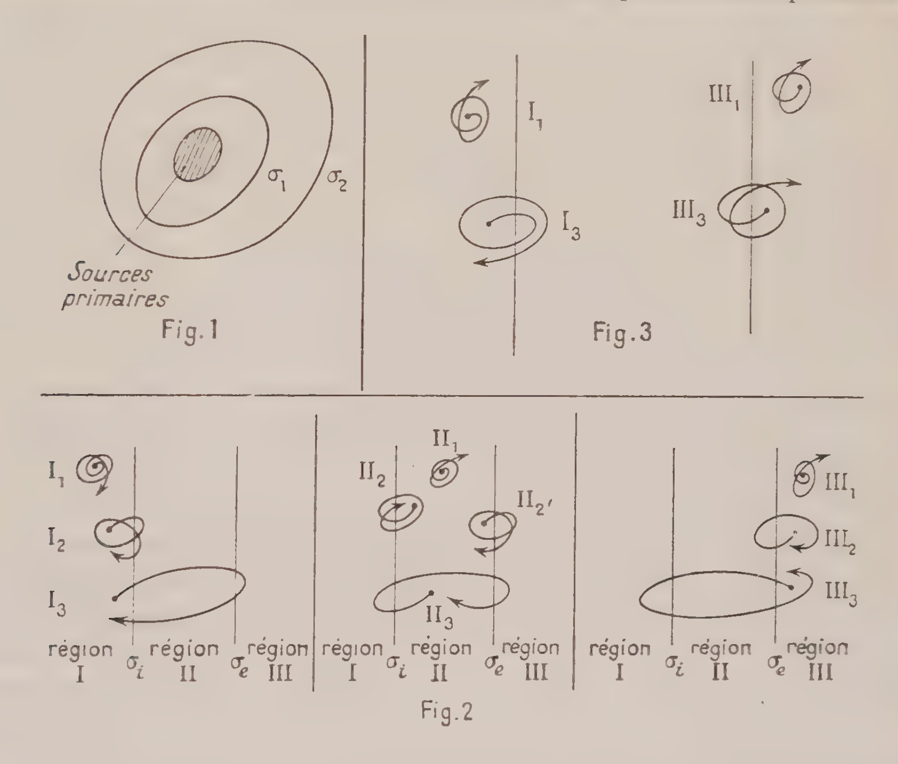
3° Les mouvements secondaires dans la région III sont identiques aux mouvements primaires.

Considérant provisoirement les atomes comme des points matériels sans interaction, la figure 2 montre :

— que la condition 1° est toujours réalisable;

— qu'on peut toujours déformer les trajectoires II_2, II_3, III_3 afin de supprimer ce qu'elles avaient dans la région I;

— que toutes les trajectoires ou portions de trajectoires de la région III peuvent exister dans la perturbation secondaire sauf les trajectoires I qu'on a déjà réduites à des points. La perturbation secondaire n'est donc cinématiquement possible que si la perturbation primaire ne présente pas



de trajectoire I_3. S'il en est ainsi, le mouvement secondaire de tout atome i est toujours réalisable moyennant une force extérieure F_i telle que

$$m_i \Gamma_i = \sum_{j \neq i} \psi'_j + F_i,$$

Γ_i, accélération à communiquer à l'atome i;
ψ'_j, force exercée par l'atome j sur l'atome i au cours de leurs mouvements secondaires respectifs.

Il n'y a donc pas, en principe, de restriction dynamique à la possibilité de la perturbation secondaire.

Localisation des forces F_i. — Un atome de la région I et distant de σ_i de plus de R n'agit que sur des atomes tous au repos dans la perturbation secondaire. Pour lui, $\sum_{j \neq i} \psi'_j = 0$ et comme on veut $\Gamma_i = 0$ il faut $F_i = 0$.

Si cet atome est à moins de R de σ_i il peut être soumis à l'action d'atomes qui, dans la région II, ne sont pas dans leur position de repos. On aura alors $\sum_{j \cdot i} \psi'_j \neq 0$ et comme il faut encore $\Gamma_i = 0$ on devra avoir $F_i \neq 0$. De même un atome de la région III et distant de σ_e de plus de R n'aura pas besoin de force extérieure parce que tout son voisinage, jusqu'à une distance R de lui, est semblable dans la perturbation secondaire à ce qu'il était dans la perturbation primaire. Cette condition n'étant pas réalisée si l'atome de la région III est à moins de R de σ_e, une force extérieure sera alors nécessaire et il en sera de même pour un atome de la région II. Ainsi, les atomes à soumettre à une force F_i sont situés entre deux surfaces Σ_i et Σ_e qui encadrent σ_i et σ_e en leur restant parallèles à la distance R. Les forces F_i pourront être très grandes si la perturbation secondaire choisie excède les possibilités de déformation élastique du solide, mais pour la discussion théorique faite ici nous n'avons pas à considérer cette objection.

Palliatif au cas d'impossibilité cinématique. — Si l'on rapproche σ_i et σ_e des trajectoires I_3 apparaissent et la perturbation secondaire est alors irréalisable par simple action des forces. Quand σ_i et σ_e sont confondues en une seule surface σ les trajectoires primaires sont de types I_1, I_3 ou III_4, III_3 (*fig.* 3). Pour associer alors une perturbation secondaire à la perturbation primaire, il faut :

Maintenir fixes les atomes dont la position initiale est dans la région I.

Pour tout atome qui décrivait un mouvement I_3, créer un nouvel atome qui effectuera la partie que ce mouvement I_3 présente dans la région III.

Pour tout atome qui décrivait un mouvement III_3 accomplir l'opération inverse : annihiler l'atome chaque fois qu'il est sur le point de traverser σ dans le sens III $\rightarrow$ I et le créer à nouveau dans l'état de mouvement convenable chaque fois que dans le mouvement primaire il traversait σ dans le sens I $\rightarrow$ III.

En outre de cette création et de destruction d'atomes, des forces extérieures devront être appliquées aux atomes situés entre les deux surfaces Σ_i, Σ_e parallèles à σ et à distance R de celle-ci.

La proposition est donc bien établie. Elle est pour le type de solide considéré l'analogue du principe d'Huygens, mais on remarquera que :

Contrairement au principe d'Huygens applicable à un milieu continu, la source secondaire n'est pas une surface, mais une couche d'épaisseur 2R.

(*) Séance du 28 avril 1960.

NAVIGATION AÉRIENNE. — *Étude de divers procédés tendant à l'atténuation du brouillard.* Note (*) de MM. **Pierre-Donatien Cot** et **Roger Serpolay**, présentée par M. Paul Dassault.

L'étude des moyens susceptibles de procurer par temps de brouillard une amélioration de la visibilité suffisante pour permettre le décollage et l'atterrissage des avions est d'une très grande importance en raison du développement toujours croissant du trafic aérien.

Pour préciser les conditions du problème, nous indiquerons que le volume dont l'éclaircissement doit être obtenu pour permettre le maintien du trafic peut être défini systématiquement par la figure 1. Il se compose d'un tronc de pyramide de section rectangulaire — pour la partie située en amont du point de contact de l'aéronef avec la piste (ce point est défini par des faisceaux radioélectriques de guidage) — et d'un parallélépipède rectangle au-delà de ce point. Ce volume, qui peut être réduit au seul parallélépipède quand il s'agit seulement de faciliter le décollage d'aéronefs, est de l'ordre de 3 à 4 millions de mètres cubes.

Dans la suite de cette Note, nous distinguerons les brouillards surfondus des brouillards à température positive qui ont été traités par des méthodes différentes.

Cas des brouillards surfondus. — Des expériences de J. Olivier ([1]) ont montré que la transformation d'un brouillard de gouttelettes surfondues en brouillard constitué de cristaux de glace entraîne une diminution notable de la densité optique du brouillard et, corrélativement, une augmentation de la visibilité. Ce phénomène peut être expliqué par la substitution aux gouttelettes initiales d'éléments généralement plus gros suivant le processus décrit par Bergeron et Findeisen.

Pour parvenir à cette transformation, nous avons utilisé, selon l'idée suggérée par l'un de nous, l'action de la détente d'un gaz liquéfié, généralement le propane.

Au cours de 17 opérations effectuées en janvier et en février 1959 :

— par vent de 1 à 4 m/s, de grands volumes de brouillard surfondu ont pu être transformés en brouillard de cristaux de glace. L'importance de ces volumes dépend des conditions de propagation et de diffusion de ces cristaux. Les estimations de l'altitude maximale atteinte par les cristaux à la verticale d'un point d'observation situé sous le vent d'un point d'émission de propane indiquent des valeurs de 8 à 10 % de la distance entre ces deux points;

— à des distances suffisantes du point d'émission, de l'ordre de 400 à 500 m, la densité optique a été réduite au cours de toutes les expériences réalisées, dans un rapport de 1/2 à 1/3, *quelle que soit la densité initiale du brouillard traité* et la visibilité a pris des valeurs de l'ordre de deux à trois

fois supérieures aux valeurs initiales, conformément à la loi de Koschmieder :

— la transformation des brouillards surfondus en brouillard de cristaux de glace est possible si la température du nuage est inférieure à — 1° C, voire — 0,5° C.

Cas des brouillards à température positive. — Nous n'avons pas retenu divers procédés, proposés par de nombreux auteurs (projections de sel ou d'eau salée, action des ultrasons, électrisation, etc.) qui n'ont pas donné jusqu'à présent de résultats utilisables. Nous avons par contre expérimenté les procédés thermiques, dont l'efficacité est plus sûre puisqu'une élévation de 1,5 à 2° C au-dessus de la température initiale d'un brouillard suffit à vaporiser complètement l'eau condensée de ce brouillard.

Parmi ces procédés thermiques, nous avons éliminé le système militaire FIDO à flammes nues, dont les inconvénients sont évidents. Nous avons renoncé également à l'émission d'air chaud par des souffleries *ad hoc*, selon l'idée émise par P. Lepez ([2]).

Il apparaît en effet que la manière employée pour diffuser l'apport de calories joue un rôle très important, étant donné que le vent, si faible soit-il, entraîne l'air chaud émis à vitesse faible (voire nulle dans le système FIDO) et que les phénomènes de convection contrarient l'étalement horizontal de l'air chaud. Aussi avons-nous retenu comme particulièrement intéressante l'idée, proposée à l'origine par J. Bertin, d'utiliser l'énergie thermique produite par le souffle d'échappement doué d'une grande vitesse et d'une haute température, d'un moteur d'aéronef à turbo-réaction. Nous avons employé à cet effet un moteur de construction française dont l'axe se trouve à une hauteur de 1,3 m au-dessus du sol. Le jet gazeux, dont l'opacité propre est pratiquement négligeable, a une vitesse d'environ 500 m/s et une température de 500° C à la sortie de la tuyère.

Au cours d'expériences conduites par temps clair, on a pu enregistrer des gains de température atteignant 12° C à 100 m de distance de la tuyère, sur l'axe du jet, qui est éventuellement dévié par le vent ambiant, ce gain diminuant de part et d'autre de l'axe pour s'abaisser à 2° à une cinquantaine de mètres de l'axe. Ces résultats encourageants permettent de penser que ce dispositif doit conduire à des développements utiles. C'est ce qu'ont confirmé diverses expériences réalisées par temps de brouillard, qui ont montré que la portée horizontale utile était de l'ordre de 200 m, tandis qu'en altitude, le gain d'atmosphère éclaircie pouvait, à cette distance, atteindre 20 à 30 m. Les expériences qui vont suivre permettront d'étudier les effets de la conjugaison de plusieurs sources de gaz chaud.

(*) Séance du 4 avril 1960.

([1]) *Bull. Obs. Puy-de-Dôme*, 1956, p. 4-6.

([2]) P. Lepez, *Courrier des Établissements NEU*, n° 16, mars 1952.

(Pierre D. Cot, *Aéroport de Paris*, 291, *boulevard Raspail, Paris*, 14e;
R. Serpolay, *Institut et Observatoire de Physique du Globe du Puy-de-Dôme*, 12, *avenue des Landais, Clermont-Ferrand.*)

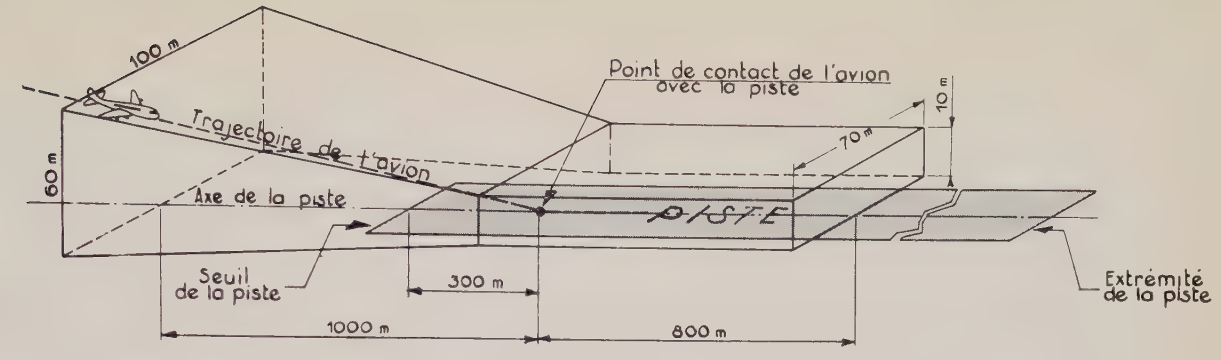


Fig. 1. — Volume théorique à dénébuler pour permettre l'atterrissage des aéronefs.

Essai de dénébulation thermique effectué le 24 octobre 1959.

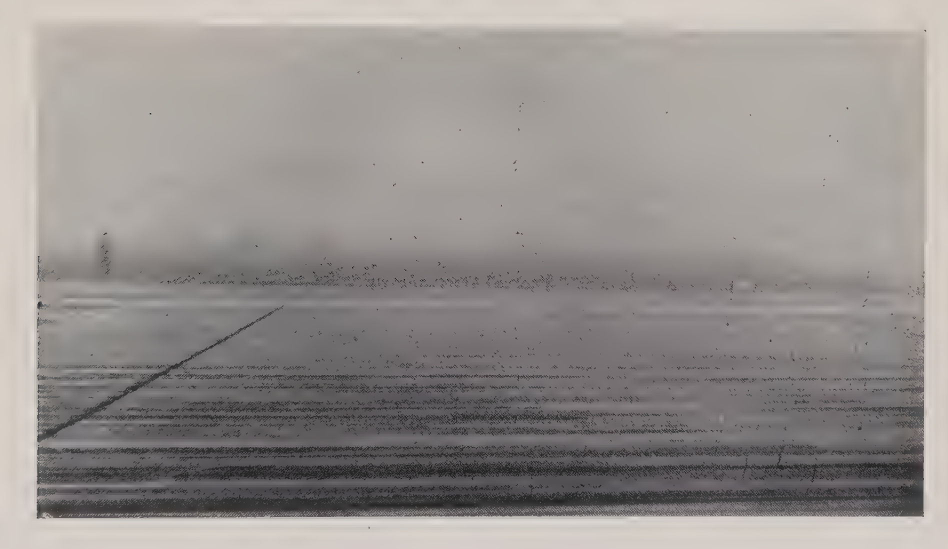


Fig. 2. — Photographie prise à 9 h 28 mn avant mise en route du réacteur.



Fig. 3. — Photographie prise à 9 h 33 m, le réacteur étant en régime.

RADIOASTRONOMIE. — *Les mesures spectrales en Radioastronomie.* Note (*) de M. **Emile-Jacques Blum**, présentée par M. André Danjon.

Les observations de la raie de l'hydrogène à la fréquence de 1420 MHz ont été faites jusqu'à présent à l'aide de récepteurs analogues aux spectrographes optiques quant à leur principe. On montre l'intérêt d'une méthode de mesure différente, dont les grandes lignes sont indiquées, et qui se rapproche de la spectroscopie interférentielle optique.

L'intérêt de la spectrographie dans le domaine des ondes radioélectriques a été mis en évidence par les études sur la raie d'émission de l'hydrogène neutre interstellaire à la fréquence de 1420 MHz. Par ailleurs, plusieurs tentatives ont été faites pour détecter une raie de deutérium à 327 MHz, et il existe sans doute d'autres raies trop faibles pour être mesurées avec les techniques actuelles, sur d'autres fréquences.

Jusqu'à présent deux méthodes d'observation ont été employées sur 1420 MHz : la première consiste à isoler par un filtre approprié une faible largeur b (de l'ordre de 50 kHz) du spectre total à mesurer, de largeur B (B est de l'ordre de 3 MHz) ; un détecteur donne la valeur moyenne de la tension fluctuante à la sortie du récepteur. La valeur moyenne des fluctuations parasites, supposée constante, et qui provient du récepteur, est retranchée du niveau détecté donnant ainsi un point du spectre inconnu. La fréquence du filtre est déplacée pour obtenir de proche en proche le spectre complet.

Dans la seconde méthode, assez voisine, au lieu de faire varier la fréquence d'un filtre, on dispose N filtres de largeur b, couvrant la bande B, ce qui revient à utiliser simultanément N récepteurs du premier type, et à obtenir, toutes choses égales d'ailleurs, N fois plus d'informations dans le même temps de mesure. Cet avantage considérable est contre-balancé par une mise au point assez délicate.

Nous décrirons une méthode basée sur un principe différent : on sait que la transformée de Fourier d'un spectre d'une fonction aléatoire stationnaire est la fonction de corrélation de cette fonction, ou plus précisément : soit $x(t)$ cette fonction, $\rho_x(\tau)$ sa fonction de corrélation (τ est un retard), $A(f)$ son spectre, fonction de la fréquence f :

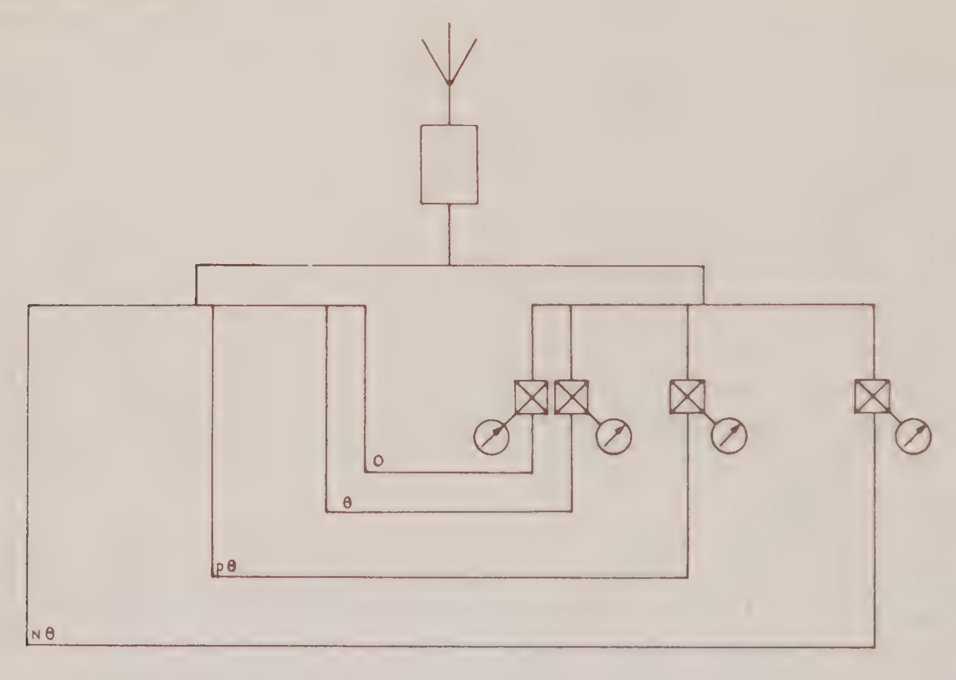
$$\overline{x(t)\,x(t+\tau)} = \rho_x(\tau) = 4\int_0^\infty A(f)\cos 2\pi f\tau\,df.$$

Si nous savons obtenir la fonction de corrélation $\rho_x(\tau)$ du signal haute fréquence, nous pourrons déterminer son spectre.

Remarquons qu'en optique les mesures en spectroscopie interférentielle [1] correspondent exactement à cette méthode, τ est alors un retard optique. Sur la figure, nous donnons le schéma d'un récepteur fonctionnant

selon ce principe; après l'antenne, le signal est amplifié puis divisé en deux voies. L'une d'elles a N sorties en phase; l'autre a également N sorties, mais des dispositifs convenables introduisent un délai $\theta = 1/2B$ entre deux sorties successives, B étant encore la largeur du spectre à observer. Il y a donc un retard $N\theta = 1/2b$ entre la première et la $N^{ième}$ sortie.

Le produit du signal venant de chaque sortie sans retard par le signal venant d'une sortie avec retard est effectué à l'aide de N multiplicateurs (⊠ sur la figure); nous avons déjà décrit un circuit pouvant faire cette opération ([2]). A la sortie du $p^{ième}$ multiplicateur apparaît une tension proportionnelle à la valeur, pour le retard $p\theta$, de la fonction de corrélation cherchée.



Considérons en effet, à l'entrée du récepteur, le signal $x(t)$ dont on cherche le spectre et le signal parasite $y(t)$. A la sortie du $p^{ième}$ multiplicateur, on a une tension

$$\overline{x(t)\,x(t+p\theta)} + \overline{y(t)\,y(t+p\theta)} = \rho_x(p\theta) + \rho_y(p\theta),$$

or $y(t)$ a généralement un spectre blanc, au moins à l'intérieur d'une bande de largeur voisine de B. Alors $\rho_y(p\theta) = 0$ si $p\theta > 1/B'$ en supposant B' bande du récepteur, supérieur à B, et sous certaines conditions de régularité de la forme de la bande passante. La seule composante continue détectée par un multiplicateur est une des valeurs de la fonction de corrélation cherchée. Il ne reste plus qu'à faire une transformation de Fourier sur l'ensemble de $\rho_x(p\theta)$ pour retrouver les composantes du spectre :

$$A_F = \frac{1}{2N}\sum_p \rho_x(p\theta)\cos 2\pi fp\theta.$$

Le procédé de réception par « spectrographe à corrélation multivoies » que nous venons de décrire semble avoir certains avantages par rapport aux récepteurs multicanaux de fréquence classique : réalisation plus simple, stabilité du gain essentiellement meilleure, contrôle et étalonnage sans doute plus facile, faible influence des variations d'impédance du circuit d'entrée et de la composante parasite à spectre blanc venant du sol. Par contre, il sera nécessaire pour remonter au spectre d'utiliser soit une machine analogique, soit d'introduire les valeurs de la fonction de corrélation dans une grande machine digitale. Il y aura toujours une certaine incertitude dans la restitution, due en particulier aux difficultés d'apodisation.

Au point de vue de la sensibilité, un raisonnement intuitif laisse présager des résultats analogues pour le système « multivoies » et pour un récepteur « multicanaux », B et N étant les mêmes ainsi bien entendu que les facteurs de bruit des récepteurs. En effet, dans les deux cas, on exploite immédiatement et complètement toute l'information spectrale contenue dans le signal haute fréquence. Un calcul complet, que nous n'exposerons pas ici, justifie ce résultat.

En optique, les conclusions sont différentes. On a montré, par exemple, qu'un spectroscope interférentiel à une seule voie de mesure avait la même sensiblité qu'un spectrographe classique mesurant simultanément les diverses composantes du spectre ([3]). Mais ceci est dû aux conditions expérimentales. En radio, on sait filtrer signal et fluctuations du récepteur avant le détecteur, et l'on s'arrange toujours, en fonction de la méthode d'observation, à n'admettre les fluctuations que sur la bande nécessaire à la connaissance complète du signal. En optique, au contraire, les dispositifs détecteurs (une cellule par exemple) ont une bande passante lumineuse relativement large et produisent les mêmes fluctuations que le signal à mesurer ait été filtré ou non. Un procédé où le signal doit être mesuré sur une bande large est donc favorisé au point de vue de la sensibilité.

(*) Séance du 2 mai 1960.
(1) *Voir* par exemple : *J. Phys. Rad.*, 19, 1958, p. 185.
(2) *Ann. d'Ap.*, 22, 1959, p. 140.
(3) *J. Phys. Rad.*, 19, 1958, p. 187.

MÉCANIQUE STATISTIQUE. — *Mécanique statistique des plasmas à plusieurs composantes.* Note de MM. **Paul Cavaillès**, **Raymond Jancel** et **Théo Kahan**, présentée par M. Louis de Broglie.

On déduit les équations macroscopiques d'un plasma à plusieurs composantes (chargées et neutres) des équations de Boltzmann. Les résultats sont appliqués aux équations phénoménologiques de plasmas binaire et ternaire.

1. Considérons un plasma à plusieurs composantes chargées et neutres, désignées par l'indice h, et soumis à des champs électriques et magnétiques $\vec{E}$ et $\vec{B}$ dont nous ne préciserons ni l'origine ni la nature. A chaque composante est associée une fonction de distribution $f_h(\vec{v}, \vec{r}, t)$ vérifiant l'équation de Boltzmann :

$$\text{(B)} \qquad \mathcal{D} f_h = \left(\frac{\partial f_h}{\partial t}\right)_{\text{chocs}} \equiv \partial f_h.$$

dont on peut déduire les équations vérifiées par les moments successifs. On obtient ainsi les équations macroscopiques fondamentales suivantes :

$$\text{(M}_1\text{)} \qquad \frac{\partial n_h}{\partial t} + \vec{\nabla}_r(n_h \bar{\vec{v}}_h) = 0,$$

$$\text{(M}_2\text{)} \qquad n_h m_h\left[\frac{\partial \bar{\vec{v}}_h}{\partial t} + (\bar{\vec{v}}_h . \vec{\nabla}_r)\bar{\vec{v}}_h\right] = -\vec{\nabla}_r . \overleftrightarrow{p}'_h + n_h \vec{F}_h + n_h Z_h e\left[\vec{E} + \frac{1}{c}(\bar{\vec{v}}_h \wedge \vec{B})\right] + n_h \sum_{l \neq h} \partial_l \overline{(m_h \vec{v}_h)}$$

n_h, m_h, $Z_h e = q_h$ étant respectivement la densité numérique, la masse et la charge de la composante h, $\vec{F}_h = -m_h \vec{\nabla}_r \Phi$ une force extérieure de nature non électrique, $\bar{\vec{v}}_h$ sa vitesse moyenne, et $\overleftrightarrow{p}'_h$, le tenseur de pression défini par $n_h m_h \overline{(\vec{v}_h - \bar{\vec{v}}_h)(\vec{v}_h - \bar{\vec{v}}_h)}$. On obtient des équations analogues de complexité croissante pour les moments d'ordre supérieur. Il importe de noter que : 1° ces équations ne sont pas indépendantes les unes des autres, puisque chacune d'elles fait intervenir la divergence d'un tenseur d'ordre supérieur; 2° qu'elles dépendent de la fonction de distribution par les termes de choc $\partial_l \overline{(m_h \vec{v}_h)}$. Pour résoudre un tel système on est donc amené, soit à faire des hypothèses simplificatrices, soit à tenter le calcul de la fonction de distribution.

2. Introduisons maintenant dans le système (M) les grandeurs globales pour l'ensemble du plasma telles que la densité de masse $\rho = \Sigma_h \rho_h = \Sigma_h n_h m_h$, la densité de charge $\sigma = \Sigma_h n_h q_h$, la vitesse moyenne globale $\rho \vec{v}_0 = \Sigma_h \rho_h \bar{\vec{v}}_h$, le tenseur de pression global

$$\overleftrightarrow{p} = \Sigma_h \overleftrightarrow{p}_h = \Sigma_h \rho_h \overline{(\vec{v}_h - \vec{v}_0)(\vec{v}_h - \vec{v}_0)} = \Sigma_h \rho_h \overline{\vec{V}_h \vec{V}_h} (\overleftrightarrow{p}'_h \neq \overleftrightarrow{p}_h !),$$

la densité de courant globale

$$\vec{J} = \Sigma_h n_h q_h \overline{\vec{v}}_h = \Sigma_h n_h q_h \left(\vec{v}_0 + \overline{\vec{V}}_h\right) = \sigma \vec{v}_0 + \vec{j}.$$

On parvient alors au système (G) suivant :

$$(G_1) \qquad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}_r . (\rho \vec{v}_0),$$

$$(G'_1) \qquad \frac{\partial \sigma}{\partial t} + \vec{\nabla}_r . \vec{J} = 0,$$

$$(G_2) \qquad \rho \frac{D\vec{v}_0}{Dt} = - \vec{\nabla}_r . \overleftrightarrow{p} + \sigma \vec{E} + \vec{J} \wedge \vec{B} + \sum_h n_h \vec{F}_h,$$

$$(G'_2) \qquad \frac{D\vec{J}}{Dt} = - \vec{J}\left(\vec{\nabla}_r . \vec{v}_0\right) - \vec{\nabla}_r\left(\vec{j}\, \vec{v}_0\right) - \vec{\nabla}_r\left(\sum_h \frac{Z_h e}{m_h} \overleftrightarrow{p}_h\right) + \left(\sum_h \frac{n_h Z_h^2 e^2}{m_h}\right)\vec{E}$$
$$+ \left(\sum_n \frac{n_h Z_h^2 e^2 \overline{\vec{v}}_h}{m_h}\right) \wedge \vec{B} + \sum_h \frac{n_h Z_h e}{m_h} \vec{F}_h + \sum_h \frac{n_h Z_h e}{m_h} \sum_{h \neq l} \delta_l \overline{(m_h \vec{v}_h)}.$$

3. Appliquons maintenant nos formules générales au cas particulier majeur de plasmas ternaires (partiellement ionisés) avec une seule composante neutre. Nous allons établir les équations phénoménologiques en admettant les hypothèses suivantes. Nous supposerons que : *a.* le tenseur de pression se réduit à une pression scalaire :

$$(H_1) \qquad \vec{\nabla}_r . \overleftrightarrow{p}_h \to \vec{\nabla}_r p_h;$$

b. les termes de collision se réduisent à des termes de frottement, proportionnels à la vitesse relative; on posera donc (avec $f = 1 - \alpha$, α étant le taux d'ionisation) :

$$(H_2) \quad \begin{cases} \delta_l \overline{(m_e \vec{v}_e)} = - \delta_e \overline{(m_l \vec{v}_l)} = - \dfrac{m_e}{\tau} \left(\overline{\vec{v}}_e - \overline{\vec{v}}_i\right), \\ \delta_a \overline{(m_e \vec{v}_e)} = - \delta_e \overline{(m_a \vec{v}_a)} = - \dfrac{m_e}{\tau_e} \left(\overline{\vec{v}}_e - \overline{\vec{v}}_a\right) = - \dfrac{m_e}{\tau_e}\left(\overline{\vec{V}}_e - \overline{\vec{V}}_i + \dfrac{\overline{\vec{V}}_i}{f}\right), \\ \delta_a \overline{(m_i \vec{v}_i)} = - \delta_i \overline{(m_a \vec{v}_a)} = - \dfrac{m_i}{\tau_i} \left(\overline{\vec{v}}_i - \overline{\vec{v}}_a\right) = - \dfrac{m_i}{\tau_i f} \overline{\vec{V}}_i, \end{cases}$$

où $1/\tau$, $1/\tau_e$ et $1/\tau_i$ décrivent des fréquences de collision; *c.* en tenant compte de la quasi-neutralité du plasma, on peut poser $\sigma = 0$ dans les équations du mouvement et du courant à condition d'en tenir compte dans les équations de Maxwell; *d.* enfin, les vitesses moyennes $\overline{\vec{v}}_h$ sont assez petites pour pouvoir négliger les termes quadratiques en $\vec{v}$ et $\vec{j}$ ainsi que dans leurs dérivées.

Remarquons que les hypothèses *c* et *d* reviennent à linéariser les équations macroscopiques (M) ainsi que nous le montrerons dans une prochaine publication.

Avec ces hypothèses, on obtient immédiatement, à partir des équations (G), les équations phénoménologiques du plasma binaire complètement ionisé; ces équations sont complètes à un double point de vue : 1° on n'a pas besoin des moments d'ordre supérieur pour le calcul des grandeurs qui figurent dans les équations (à condition d'adjoindre l'équation d'état, avec une hypothèse raisonnable sur la nature de p); 2° les équations du mouvement (G_2) et du courant (G'_2) (équivalente à la loi d'Ohm généralisée) suffisent à décrire l'état du plasma, sans faire obligatoirement appel aux équations (M).

Il n'en est pas de même du plasma ternaire incomplètement ionisé, car pour décrire complètement un tel plasma, il convient d'adjoindre au système (G) une équation du système (M). Les équations du groupe (G) relatives au plasma ternaire prennent alors la forme

$$(G_2) \qquad \rho\frac{\partial \vec{v}_0}{\partial t} = \vec{j} \wedge \vec{B} - \vec{\nabla}_r p - \rho\vec{\nabla}_r \Phi.$$

$$(G_3) \qquad \frac{m_e}{e}\frac{\partial \vec{j}}{\partial t} = e n_e\left(\vec{E} + \vec{v}_0 \wedge \vec{B}\right) + \vec{\nabla}_r p_e + \vec{j}_e \wedge \vec{B} - \frac{m_e}{e}\vec{j}\left[\frac{1}{\tau} + \frac{1}{\tau_e}\left(1 - \frac{1}{f}\right) - \frac{1}{\tau_i f}\right]$$

$$\frac{m_e}{e}\vec{j}_e\left(\frac{1}{\tau_e f} + \frac{1}{\tau_i f}\right), \qquad \text{avec} \quad \vec{j}_e = e n_e \vec{V}.$$

Nous nous proposons d'appliquer, dans une publication ultérieure, nos résultats à l'étude de l'hydromagnétisme d'un plasma ternaire, en couplant les systèmes d'équations (M) ou (G) aux équations de Maxwell. Cela nous permettra d'analyser la propagation des ondes de divers types dans un tel milieu, dans l'hypothèse d'oscillations de faible amplitude (linéarisation).

(*Institut Henri Poincaré*, 11, *rue Pierre-Curie*, *Paris*, 5e.)

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Expression des grandeurs thermodynamiques en termes d'une fonction de distribution de quasi-particules.* Note (*) de MM. **Roger Balian** et **Cyrano De Dominicis**, transmise par M. Francis Perrin.

On exprime, pour un système de volume infini, les grandeurs thermodynamiques en fonction d'une quantité F_k^-, contenant toute la dépendance en l'activité chimique et la température. L'interprétation de F_k^- comme fonction de distribution de quasi-particules justifie et explicite une hypothèse formulée par Landau pour les liquides de Fermi. L'expression de l'énergie moyenne redonne, comme cas particulier, le développement de Goldstone pour l'énergie de l'état fondamental.

Dans une autre publication ([1]), nous avons pu donner, moyennant certaines approximations, une expression du potentiel de Gibbs A, de l'énergie E et du nombre de particules $\overline{N}$ moyens, pour un système grand canonique, fini, de fermions :

$$A = \beta^{-1} \sum_k \log F_k^- - \sum_k W_k F_k^- + D, \tag{1}$$

$$\overline{E} = \sum_k \varepsilon_k F_k^- + D, \tag{2}$$

$$\overline{N} = \sum_k F_k^-, \tag{3}$$

$$F_k^+ = 1 - F_k^- = [1 + \exp(+\alpha - \beta\varepsilon_k - \beta W_k)]^{-1}, \tag{4}$$

$$W_k = \frac{\partial D}{\partial F_k^-}, \tag{5}$$

D est la contribution des diagrammes connexes vide-vide, dans une représentation (*a*) *indépendante du temps* (où les dénominateurs d'énergie s'expriment en fonction des énergies non perturbées ε_k) qui généralise terme à terme le développement en perturbation de l'énergie de l'état fondamental ([2]), et en diffère par les points suivants : on affecte à l'ensemble des lignes de même impulsion k (toutes de même sens) un seul facteur statistique $F_k^\pm$ (suivant ce sens) et l'on somme librement sur les impulsions. Dans la relation (5), qui s'interprète en fixant à k, dans les diagrammes précédents, l'impulsion de chaque ligne, et en remplaçant $F_k^\pm$ par ∓ 1, D est considérée comme une fonctionnelle de F_k^-. Nous montrerons ici qu'on peut, pour *un système infini*, établir les équations précédentes en complétant la formulation (*a*) par une règle (*c*) énoncée plus loin.

Partons de l'expression (40) de A dans ([3]),

$$A = A_0 + \sum_{p=1}^{\infty} \frac{1}{\mathcal{O}} \operatorname*{Rés}_{\varepsilon=0} \frac{e^{-\beta\varepsilon}}{\varepsilon} \left\langle V \left(\frac{1}{\varepsilon - \mathcal{E}} V \right)^{p-1} \right\rangle_c, \tag{6}$$

où les $\mathcal{E}$ sont les énergies lues sur le diagramme, et $\mathcal{O}$ l'ordre du

pôle $z=0$. L'intégration sur les impulsions ne peut se faire ici qu'après un regroupement $\mathcal{R}$ des contributions des diagrammes déduits les uns des autres par rotation sur le cercle des temps [3]. Nous transformons (6) en utilisant :

1° un théorème de désenchevêtrement [4];

2° un théorème de factorisation : étant donné n parties de diagrammes, caractérisées par leurs dénominateurs respectifs $Y_{k,j}$ ($1 \leq k \leq n$) non nuls, et qu'on peut déplacer les unes par rapport aux autres de toutes les façons possibles, on a

$$(7)\qquad \sum \frac{1}{\mathcal{C}}\,\text{Rés}_{z=0}\,\frac{e^{-\beta z}}{z}\prod_{i=1}^{p-1}\left(\frac{1}{z-\mathcal{E}_i}\right)=\beta^{-n}\prod_{k=1}^{n}\left(\prod_j \frac{1}{Y_{k,j}}\right);$$

la somme porte sur l'ensemble des diagrammes (d'ordre p) qu'on peut ainsi former; les $\mathcal{E}_i$ sont les énergies lues sur les diagrammes. La contribution totale est donc un produit de facteurs relatifs à chaque partie.

Nous obtenons ainsi une représentation (b) de A, en les mêmes diagrammes que ceux de la formulation (II) [2], mais pour des bulles composées *ne chevauchant pas*, les contributions étant calculées dans la formulation *indépendante du temps*. Cette représentation (b) qui, en dehors des facteurs statistiques communs à plusieurs bulles composées, factorise les contributions de chaque partie vide-vide, se déduirait de (1) en utilisant simultanément (5) et le développement de (4) en puissances de W_1. Mais les regroupements $\mathcal{R}$ nécessaires pour donner un sens à l'expression (6) imposent ici des regroupements $\mathcal{R}'$ (plus vastes à cause de l'application des théorèmes 1° et 2°) qui interdisent la resommation sous la forme (1) à (5).

On peut bâtir une règle (c) qui permet de donner un sens à la contribution *individuelle* de chacun des nouveaux diagrammes *sans modifier la contribution totale de* $\mathcal{R}'$ (de manière que la contribution de chacune des parties vide-vide reste factorisée et indépendante du diagramme où elle figure). La resommation est alors possible et conduit à (1) à (5). Il nous suffira d'énoncer la règle (c) pour la fonctionnelle D, qui garde alors un sens à volume infini (l'emploi brutal de (a) aurait conduit à des intégrales divergentes) : soit un diagramme de (a) bâti avec m parties irréductibles d'ordres $p_1, p_2, \ldots, p_m$, de dénominateurs $X_{k,j}$ ($1\leq k\leq m$, $1\leq j<p_k$), indépendants. On ajoute à chacun d'eux une petite partie imaginaire $i\xi_{k,j}$, positive ou négative. La contribution du diagramme, dont les dénominateurs sont des sommes de $X_{k,j}$, est la moyenne des contributions calculées en faisant tendre les ξ vers zéro (après intégration) dans tous les $m!\prod_k (p_k!)$ ordres possibles définis comme suit : on ordonne les $\{\xi_k\}$ suivant la partie irréductible k à laquelle ils appartiennent; on ordonne ensuite (dans chaque partie irréductible) les $\xi_{k,j}$ entre eux et par rapport à zéro.

Toute la dépendance en α *et* β *de* (1) *à* (5) *est contenue dans les* F_k. (2) admet

comme cas particulier à température nulle, le développement de Goldstone [2]. En réalité, les contributions à D de certains diagrammes (par exemple celles comportant des puissances d'un même dénominateur) ne peuvent être prises isolément ; exactement comme dans le développement de Goldstone, elles doivent être regroupées (à parties irréductibles fixées) pour pouvoir être calculées. (2) à (5) permettent d'interpréter $\varepsilon_k + W_k$ comme une énergie de quasi-particules dont la fonction de distribution serait F_k. L'hypothèse faite par Landau [5] pour l'étude à l'équilibre des liquides de Fermi à basse température trouve donc ici une formulation explicite. Cette énergie de quasi-particules généralise une expression [6] définie jusqu'ici pour l'impulsion de Fermi à température nulle (énergie de Fermi).

La règle donnée plus haut pour l'introduction de petites parties imaginaires n'est pas unique. D'autres règles, conduisant par exemple à un D complexe, permettraient d'établir (1) à (5). La règle (*c*) énoncée ici est la plus symétrique. Illustrons-la par quelques résultats. La contribution à A des échelles prend une forme voisine d'un résultat déjà connu [7]

$$(8) \qquad \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} d\eta \; \mathrm{trace}_{12} \exp[2\alpha - \beta(H_0 + W)_{12}] \,\mathrm{Arctg}\,\{\Pi\,\delta(\eta - (H_0)_{12}\theta_{12}(\eta)\}.$$

où la matrice réaction θ_{12} a la même définition que dans [7] [équ. (10)], les facteurs d'atténuation F^+ remplaçant ici les f^+. Ce résultat se généralise à d'autres types de diagrammes irréductibles. A la manière introduite par Brueckner [8], l'interaction effective entre deux particules est représentée par θ_{12}. Ceci contraste avec le fait que W, qui joue un peu le rôle d'un potentiel self-consistant, fait plutôt intervenir les déphasages [équ. (5) et (8) ci-dessus] que leur tangente.

Le même formalisme est valable pour les bosons (à des changements de signes près). Il est cependant moins directement utilisable en raison des phénomènes de condensation propres aux bosons.

(*) Séance du 2 mai 1960.

[1] R. Balian et C. De Dominicis, *Nucl. Phys.*, 1960 (sous presse).

[2] J. Goldstone, *Proc. Roy. Soc.*, A 239, 1957, p. 267; N. M. Hugenholtz, *Physica*, 23, 1957, p. 481; C. Bloch, *Nucl. Phys.*, 7, 1958, p. 451.

[3] C. Bloch et C. De Dominicis, *Nucl. Phys.*, 7, 1958, p. 459.

[4] R. Balian, C. Bloch et C. De Dominicis, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2850.

[5] L. Landau, *J. E. T. P.*, 30, 1956, p. 1058.

[6] N. M. Hugenholtz et L. Van Hove, *Phys.*, 24, 1958, p. 363.

[7] C. Bloch et C. De Dominicis, *Nucl. Phys.*, 10, 1959, p. 509.

[8] K. Brueckner, par exemple dans *le problème à* N *corps*, Dunod, Paris, 1959.

(*Service de Physique mathématique, Centre d'Études nucléaires de Saclay.*)

ÉLECTRICITÉ. — *Détermination de l'impédance caractéristique d'un quadripôle quelconque en hyperfréquences.* Note (*) de M. **Serge Lefeuvre**, transmise par M. Charles Camichel.

L'auteur donne une nouvelle démonstration du procédé de mesure d'un quadripôle hyperfréquence quelconque et de son impédance itérative.

Considérons un quadripôle dont la matrice des coefficients de réflexion est $S = [r_{ij}]$, $r_{12} = r_{21}$ et calculons les r_{ij}.

Plaçons en arrière du quadripôle une charge de coefficient de réflexion Γ_s. Le coefficient de réflexion Γ_e à l'entrée est donné par

$$\Gamma_e = r_{11} + \frac{r_{12}\Gamma_s}{1 - r_{22}\Gamma_s}, \tag{1}$$

soit

$$\Gamma_e = r_{11} - \frac{r_{12}^2}{r_{22}} + \frac{r_{12}^2}{r_{22}}\,\frac{1}{1 - r_{22}\Gamma_s}. \tag{2}$$

Remarquons que $\Gamma_e(O) = r_{11} =$ affixe O′ (*fig.* 1).

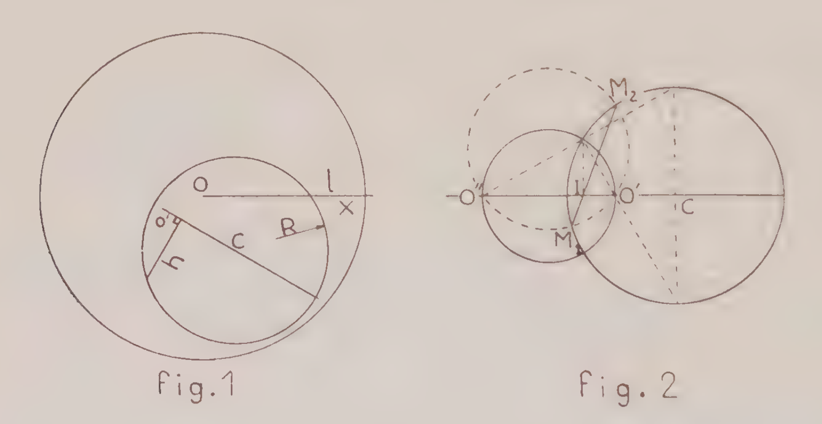


Fig. 1 Fig. 2

Prenons $\Gamma_s = e^{j\varphi}$ (la charge est un court-circuit déplaçable). Soient N le point d'affixe Γ_s et M le point d'affixe Γ_e. Le lieu de M se déduit de celui de N par une homothétie $(O, |r_{22}|)$, une translation (1), une inversion, une similitude $(O, r_{12}^2/r_{22})$, une translation $[r_{11} - (r_{12}^2/r_{22})]$, c'est un cercle dont le centre C est donné par

$$\text{affixe } C = r_{11} + \frac{r_{12}^2}{r_{22}}\,\frac{|r_{22}|}{1 - |r_{22}|^2} \tag{3}$$

et le rayon R par

$$R = \frac{|r_{12}|^2}{1 - |r_{22}|^2}. \tag{4}$$

Nous remarquons alors en appelant l le rayon du cercle unité que

(5) $$|r_{11}| = \frac{OO'}{l}, \qquad |r_{22}| = \frac{O'c}{R}, \qquad |r_{12}|^2 = \frac{h^2}{Rl}.$$

Prenons $\Gamma_s = \rho e^{i\varphi_0}$ $(0 < \rho < +\infty)$.

Le point M décrit un cercle passant par O′ (r_{11}) et O″ $[r_{11} - (r_{12}^2/r_{22})]$ et orthogonal au précédent. En faisant varier la phase de Γ_s nous obtenons un faisceau à points de base O′ et O″ (*fig.* 2). Nous savons que les cordes telles que M_1M_2 passent alors par un point fixe et que nous pouvons construire O′ et O″, connaissant C, R et I en menant en I et C les perpendiculaires à IC et en joignant en croix les points d'intersection avec le cercle. Remarquons que

$$\frac{1}{|r_{22}|} = \frac{O''c}{R}.$$

Considérons le point $M_0\,[\Gamma_e(+1)]$ (*fig.* 3). M_0 détermine un cercle, du faisceau orthogonal, qui fait l'angle $\arg r_{22}$ avec O′O″ donc $\arg r_{22} = (M_0O'', M_0O')$. L'angle de O′O″ avec Ox est $2 \arg r_{12} - \arg r_{22}$. L'angle de OO′ avec Ox est $\arg r_{11}$.

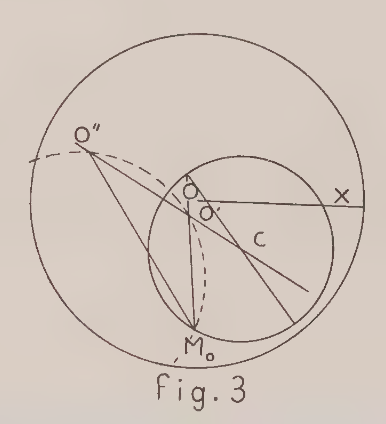


Fig. 3

L'équation donnant l'impédance caractéristique Γ_c se déduit de (1) et est

(6) $$\Gamma_c^2 - \left(\frac{1}{r_{22}} + r_{11} - \frac{r_{12}^2}{r_{22}}\right)\Gamma_c + \frac{r_{11}}{r_{22}} = 0.$$

[Nous pouvons aisément construire les solutions connaissant la somme et le produit des racines (OO″ et $1/r_{22}$) donnent la somme des racines.]

(*) Séance du 9 mai 1960.

SEMI-CONDUCTEURS. — *Conditions de mise en œuvre de la double diffusion pour obtenir des transistrons au germanium.* Note (*) de M. **René Deschamps**, présentée par M. Gaston Dupouy.

Dans une Note antérieure (1) (dont nous conserverons les notations), nous avons donné les conditions pour obtenir des transistrons au germanium par double diffusion, et calculé les profils de concentration qui résultent de cette opération. Nous décrivons ici les méthodes expérimentales permettant de vérifier ces prévisions et d'obtenir les structures *n*, *p*, *n*.

1. *Mise en œuvre de la diffusion à concentration superficielle constante.* — Deux méthodes peuvent être envisagées. L'une d'elles consiste à sceller, dans le même tube de quartz, la plaquette de germanium et une certaine quantité Q d'impureté. La concentration superficielle restera constante pourvu que Q soit nettement supérieur à la quantité d'impureté qui diffuse

$$Q = \frac{2C_{s0}\sqrt{Dt}}{\sqrt{\pi}}.$$

L'autre méthode consiste à faire circuler sur la plaquette un gaz contenant l'impureté. On peut montrer que, dans ce cas, la concentration superficielle est pratiquement indépendante de la coordonnée y (direction de circulation du gaz); elle s'exprime en effet par la formule suivante, où le coefficient de y est très petit :

$$C_s = C_{s0}\exp\left(-\frac{kD}{hv\sqrt{\pi Dt}}y\right)$$

(h, hauteur de la colonne gazeuse surmontant la plaquette; v, vitesse de circulation du gaz; k, coefficient de partage de l'impureté entre les phases vapeur et solide).

Nous avons mis en œuvre la première de ces méthodes pour faire diffuser, à T = 850° C, l'indium dans le germanium de type *n*. Fréquemment la plaquette, tout entière, devient de type *p*. Ce phénomène est connu (2), bien qu'insuffisamment compris. Il s'explique probablement par la diffusion d'un accepteur à grand coefficient de diffusion, introduit accidentellement. Nous avons obtenu le retour de la plaquette au type *n* (sauf la zone volontairement chargée en indium), par un recuit à 500° C, dont le rôle semble être de faire passer l'accepteur accidentel à un état électriquement neutre.

Les faibles variations de la résistivité initiale ρ, d'un point à un autre de la plaquette, produisent des variations de la distance d entre la jonction et la surface. Une imprécision de la définition de T a le même effet, car D

dépend de T selon $D = D_0 \exp(-Q/RT)$. On peut montrer que la variation relative de d est

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{Q}{2RT}\frac{\Delta T}{T} + \frac{2Dt}{d^2}\frac{\Delta\rho}{\rho} \qquad (1)$$

et que, dans la formule (1), le premier terme est prépondérant. On choisira donc une impureté diffusant lentement, pour que le temps nécessaire à la mise en équilibre thermique soit faible devant le temps de diffusion. C'est ainsi que, pour produire une couche de type n sur Ge-p, nous avons constaté une dispersion maximale de d égale à 35 % avec l'arsenic et à 15 % seulement avec le phosphore.

2. *Vérification de la loi de diffusion.* — Pour une diffusion d'indium

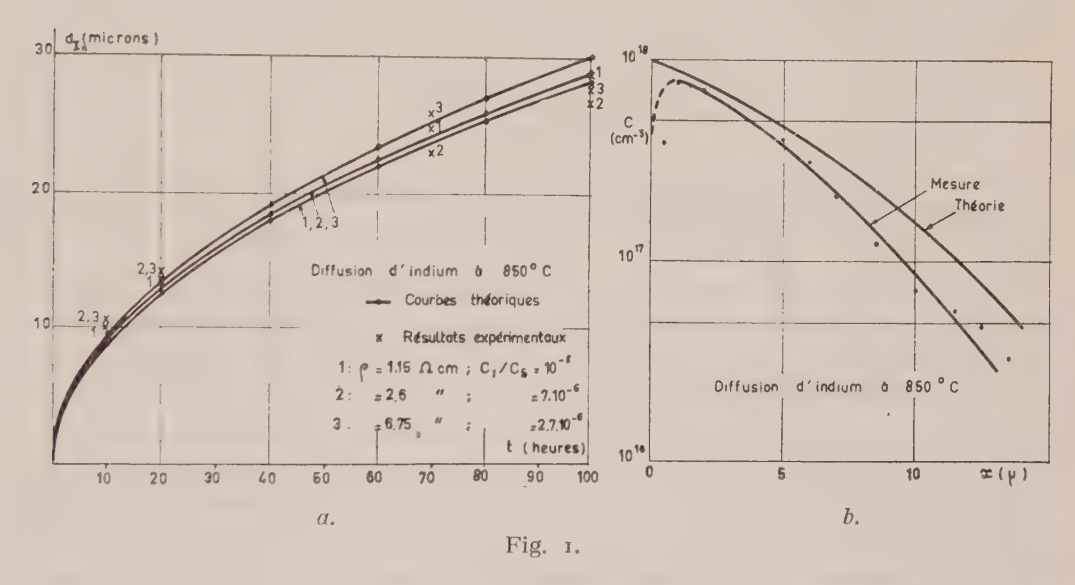


Fig. 1.

à 850° C dans Ge-n, nous avons mesuré l'épaisseur d_{In} de la couche p en fonction du temps, qui concorde bien avec la théorie (*fig.* 1 *a*); nous avons également déterminé le profil de concentration par des mesures de conductance superficielle (*fig.* 1 *b*), et noté un bon accord avec la théorie [(1), form. (5)].

Une diffusion d'arsenic succédant à cette première diffusion, une deuxième jonction est formée, dans les conditions étudiées antérieurement (1). On peut prévoir sa profondeur d_{As}, qui dépend du rapport des concentrations superficielles au cours des deux diffusions successives $C_s^{\mathrm{As}}/C_s^{\mathrm{In}}$. La figure 2 représente le résultat de ce calcul. L'expérience a vérifié ces prévisions, et nous nous sommes attaché à mesurer les propriétés électriques des transistrons ainsi formés. Il était alors nécessaire de souder des connexions sur les trois couches n, p, n, dont les deux premières (émetteur et base) avaient chacune une épaisseur de 10 μ. Nous donnons ci-après le principe d'une méthode de soudure simultanée des connexions.

3. *Soudure par alliage des connexions.* — Les conditions à obtenir sont

les suivantes : à une même température T, le matériau C_2 utilisé pour la connexion émetteur doit pénétrer peu profondément dans le germanium, le matériau C_1 utilisé pour la connexion de base doit pénétrer à une profondeur suffisante pour atteindre la base et doit, en outre, être accepteur.

Nous avons calculé la profondeur de pénétration h d'un corps C en fonc-

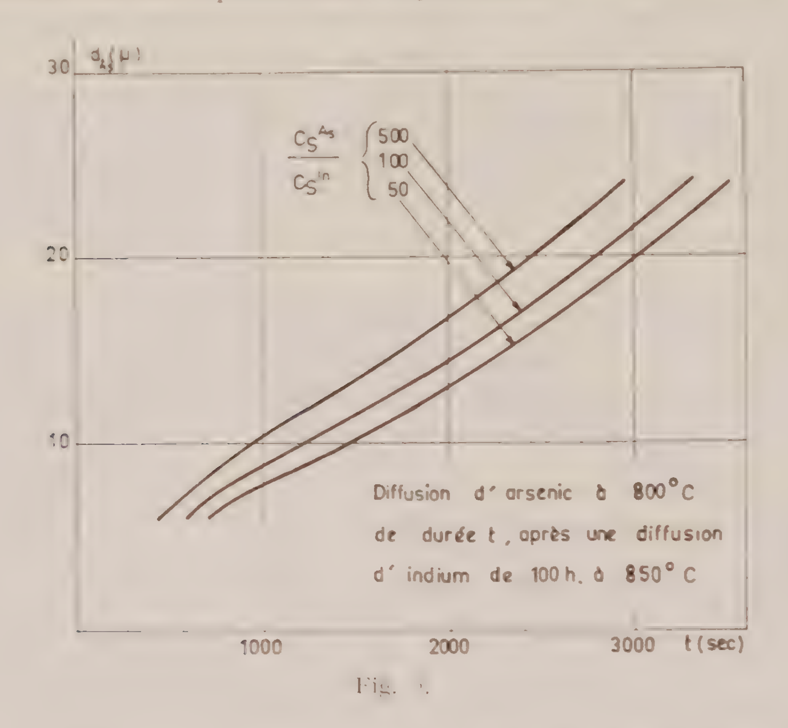


Fig. 2.

tion de sa chaleur de fusion H^F et de sa température de fusion T^F. Si d et A désignent sa densité et sa masse atomique, et D le diamètre de la sphère du corps C initialement déposée à la surface du germanium, nous avons montré que

$$(2) \qquad \frac{h_2}{h_1} = \frac{D_2\, H_2^F\, T_2^F\, (T - T_1^F)\, d_1\, A_2}{D_1\, H_1^F\, T_1^F - T\, T_2^F\, d_2\, A_1}.$$

Nous avons choisi, comme corps C_1, l'indium légèrement dopé en gallium et montré, au moyen de la formule (2), que, à 400° C, l'étain ne convient pas comme corps C_2, mais que le plomb convient, car il conduit à une valeur plus élevée de h_2/h_1.

Les propriétés électriques des transistrons fabriqués par double diffusion seront données dans une publication ultérieure.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) R. Deschamps, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3137.

(2) F. C. Frank et D. Turnbull, *Phys. Rev.*, 104, 1956, p. 617; C. S. Fuller et J. A. Ditzenberger, *J. Appl. Phys.*, 28, 1957, p. 40.

(*Laboratoire de Magnétisme et de Physique du Solide du C. N. R. S., Bellevue, Seine-et-Oise.*)

MAGNÉTISME. — *Calcul du coefficient d'aimantation des cations libres diamagnétiques.* Note (*) de M. **Clément Courty**, présentée par M. Louis de Broglie.

On peut, par simple utilisation des effets d'écran, compte tenu d'une augmentation du numéro atomique inhérente à l'ionisation, calculer le coefficient d'aimantation des cations libres diamagnétiques.

Dans la première Note [1] relative à mes travaux sur le diamagnétisme des atomes et molécules, j'ai montré comment l'énergie de première ionisation W_i des atomes posé sous la forme de la Mécanique ondulatoire non relativiste, avec introduction de l'effet d'écran, σ,

$$W_i = \frac{(Z-\sigma)^2 2\pi^2 me^4}{n^2 h^2}$$

permettait de déduire cet effet de l'expérience, puis, après correction de σ, de passer au coefficient d'aimantation diamagnétique de l'électron déplaçable.

Quand on applique cette expression non plus à l'atome neutre mais à l'atome ayant perdu un ou plusieurs électrons, les énergies de seconde, troisième, ... ionisation semblent toujours donner des valeurs trop faibles à l'effet d'écran et cette apparence a fait que dans tous les calculs précédents je n'ai fait appel qu'aux énergies de première ionisation, convaincu que les ionisations successives portaient un tel bouleversement dans l'atome que leur intérêt était minime.

Un examen plus approfondi de la question semble montrer qu'il n'en est rien. Les effets d'écran que subissent les différents électrons de l'atome, du fait de la présence des autres électrons sous-jacents, ne semblent pas modifiés par les ionisations successives. En effet, le calcul, à partir des valeurs expérimentales W_i donne une grandeur de $(Z-\sigma)$ trop forte, non pas parce que σ a diminué, mais parce, σ que demeurant inchangé, Z s'est accru du fait de la charge positive de l'édifice atomique maintenant ionisé positivement.

Prenons l'étain comme exemple. Ses énergies d'ionisation successives en électrons-volts sont 7,332, 14,629, 30,654, 40,740 et 81,13. Les effets d'écran qui en résulteraient seraient 46,3337, 44,8329, 42,506, 41,4825 et 40,248, alors que les énergies de première ionisation des atomes isoélectroniques de ces cations successifs donneraient les effets 45,7433, 43,9382, 43,2735 et 42,8726. Les confrontations des quatre dernières valeurs avec les quatre dernières relatives à l'étain ayant perdu successivement 1, 2, 3, 4 électrons montreraient qu'en fait les numéros atomiques à utiliser dans les calculs seraient successivement 50,9104, 51,4322, 51,7910 et 52,6246 au lieu de 50.

Cette manière de voir appliquée au calcul des coefficients d'aimantation des atomes devenus cations, calcul mené comme pour les atomes libres eux-mêmes, conduit aux résultats ci-après (tableau).

Un cation particulièrement intéressant à étudier était l'ammonium. Le coefficient d'aimantation, calculé [2], de l'ammoniac, étant 17,628 et celui du cation H^+ étant admis comme nul, on pourrait garder la même valeur pour NH_4^+. Mais le calcul se conduit autrement. On détermine d'abord l'accroissement du numéro atomique de l'azote par perte d'un électron, cet accroissement vaut 0,1263. On tient compte ensuite de la disposition tétraédrique des liaisons N—H dans l'espace, comme nous l'avons déjà fait pour d'autres molécules [3]. On aboutit alors à la valeur 13,725 nettement différente de 17,628 !

Le tableau qui suit donne les valeurs calculées toutes les fois que la variation de Z a pu être déterminée. En regard figurent les valeurs approximatives compilées par Klemm [illegible] et citées par Selwood [illegible]. Les écarts sont

Coefficients d'aimantation des cations et de quelques halogénures à liaisons ioniques.

Cation.	$-10^6 \chi_{calc.}$	$-10^6 \chi_{exp}$ (approx.).
Li^+	0,692	0,6
Be^{2+}	0,358	0,4
B^{3+}	0,219	0,2
Na^+	4,522	5
Mg^{2+}	3,241	3
Al^{3+}	2,474	2
K^+	13,687	13
NH_4^+	13,725	11,5
Ca^{2+}	10,553	8
Sc^{3+}	8,472	6
Ti^{4+}	7,027	5
Cu^+	14,198	12
Zn^{2+}	9,894	10
Ga^{3+}	7,518	8
Ge[illegible]	5,936	7
As^{3+}	6,817	6
As^{5+}	10,639	9 (?)
Rb^+	23,144	20
Sr^{2+}	17,757	15
Ag^+	23,468	24
Cd^{2+}	18,329	22
In^{3+}	14,898	19
Sn^{2+}	21,014	20
Sn^{4+}	12,449	16
Sb^{3+}	17,397	17
Cs^+	35,048	31
Ba^{2+}	28,260	32
La^{3+}	27,710	20

Halogénures.	$-10^6 \chi_{calc.}$	$-10^6 \chi_{exp.}$
ClLi	26,635	24,3 crist.
		25,1 sol. aq.
BrLi	36,953	34,7 crist.
		35,9 sol. aq.
ILi	52,187	50 crist.
		53 sol. aq.
ClNa	30,465	30,3 crist.
		30,4 sol. aq.
BrNa	40,783	41 crist.
		41,1 sol. aq.
ClK	39,630	39,0 crist.
		39,4 sol. aq.
BrK	49,948	49,1 crist.
		50,3 sol. aq.
$BrNH_4$	49,864	47,0 crist.
		49,8 sol. aq.
I_2Sr	120,747	112 crist.
		123,2 sol. aq.
Br_2Cd	90,851	87,3 crist.
		92,1 sol. aq.
Br_2Ba	100,782	100,3 sol. aq.

souvent sérieux. Il suffit de remarquer que les coefficients ainsi calculés sont ceux des cations libres. Dès qu'ils sont liés dans un réseau cristallin, ou solvatés dans une solution, il y a lieu de tenir compte des échanges d'énergie. La simple additivité est inapplicable. Cependant, comme ces énergies échangées sont généralement faibles devant les énergies des électrons dans l'atome, dans quelques cas l'additivité de nos valeurs calculées donne des résultats conformes à l'expérience. C'est ainsi que combinant les valeurs trouvées pour les anions halogènes (1) aux valeurs du tableau ci-dessus on a parfois de bons résultats. Je n'ai cité, parmi ces valeurs concordantes, que celles qui sont réellement confirmées par l'expérience (6). On remarquera qu'en général les coefficients calculés se rapprochent mieux de ceux trouvés pour les sels en solution aqueuse qu'à l'état cristallisé. Cela semblerait prouver que l'énergie réticulaire joue un rôle certain dans les calculs de diamagnétisme des ions. Mais la solvatation a aussi son importance. Dans le cas du cation lithium, sûrement solvaté, il n'y a aucun doute sur ce point.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) C. Courty, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 2179.

(2) C. Courty, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2740.

(3) C. Courty, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1211.

(4) W. Klemm, *Z. anorg. allgem. Chem.*, 244, 1940, p. 377; 246, 1941, p. 347.

(5) P. W. Selwood, *Magnetochemistry*, 2e éd., 1956, p. 78 (Intersc. Publ., New-York).

(6) G. Foëx, *Constantes sélectionnées, Diam. et paramagnétisme*, Masson, Paris, 1957.

(*Laboratoire de Chimie physique, Faculté des Sciences, Lyon.*)

DIFFRACTION DES ÉLECTRONS. — *Sur les couches minces de cobalt déposées par vaporisation thermique sur une face (111) d'un monocristal de cuivre.* Note (*) de MM. **Jean Garigue, Lucien Lafourcade, Nguyen Quat Ti** et **Félix Sonier**, transmise par M. Gaston Dupouy.

Le cobalt se dépose suivant deux structures possibles : cubique à faces centrées et hexagonale. Après une seconde évaporation suivie d'un chauffage par rayonnement, apparaissent les réflexions nouvelles dues à l'oxyde de cobalt.

Nous avons utilisé la face (111) d'un monocristal de cuivre poli électrolytiquement. Après un décapage effectué dans l'appareil avec un faisceau d'ions d'argon [1], l'échantillon est observé dans l'azimuth [110] (*photo* 3 *a*).

Dépôt de cobalt. — Les vaporisations de cobalt se font normalement à la face (111) à partir d'un panier de tungstène situé à 5 cm de l'échantillon. Nous avons obtenu par vaporisation thermique de 30 mg de cobalt des dépôts dont les diagrammes sont caractéristiques :

— soit d'une structure cubique à faces centrées (C. F. C.) avec macle [1] par rapport au plan (111) de l'échantillon (*photo* 1);

— soit d'une structure hexagonale [2]. On remarque sur la direction [111] perpendiculaire à l'échantillon les points supplémentaires dus à l'effet dynamique (*photo* 2);

— soit plus généralement d'une superposition de deux structures C. F. C. et hexagonale (*photo* 3 *b* et diagramme théorique).

Formation de l'oxyde de cobalt. — Dans les mêmes conditions, nous évaporons la même quantité de cobalt. Un canon à ions oscillant permet de corroder le dépôt [1] et nous observons successivement les diagrammes :

— 3 *b* après le dépôt de cobalt et avant décapage ionique. Deux diagrammes sont superposés : celui du cobalt C. F. C. avec macle par rapport au plan (111) de l'échantillon, et celui du cobalt hexagonal.

Après un décapage prolongé, le diagramme du support réapparaît. Nous évaporons alors les quelques milligrammes de cobalt qui restaient dans le panier. Cette deuxième évaporation qui dure 2 mn élève la température de la couche superficielle de l'échantillon à environ 300° C.

— 3 *c* observé après ce deuxième dépôt est analogue à 3 *b*;

— 3 *d* est obtenu après un léger décapage. De nouvelles taches de diffraction apparaissent. Elles forment un diagramme caractéristique d'une structure C. F. C. avec macle par rapport à la face (111), ayant pour maille : $a = 4{,}23 \pm 0{,}05$ Å. L'oxyde de cobalt CoO qui est du type NaCl et qui a pour paramètre $a = 4{,}26$ Å, satisfait à ces conditions. On remarque d'ailleurs que les réflexions dont les trois indices sont impairs sont beaucoup plus faibles que celles dont les trois indices sont pairs.

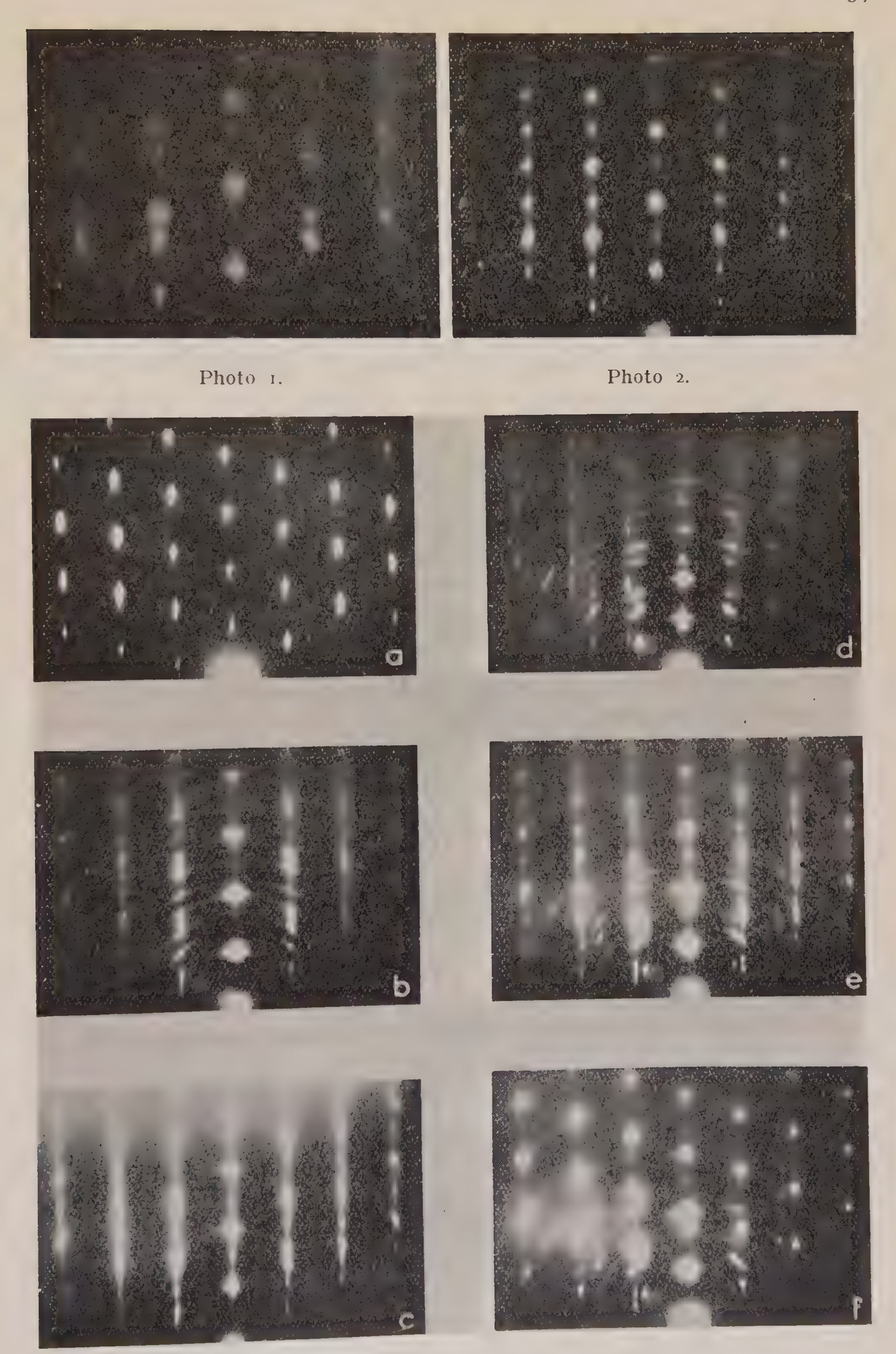


Photo 1.

Photo 2.

Photo 3. — Dépôt de cobalt sur cuivre. Face (111), azimut [110].

— 3 *e* observé après un décapage prolongé est identique à 3 *d*.

— 3 *f* : les taches de diffraction dues au support apparaissent; celles

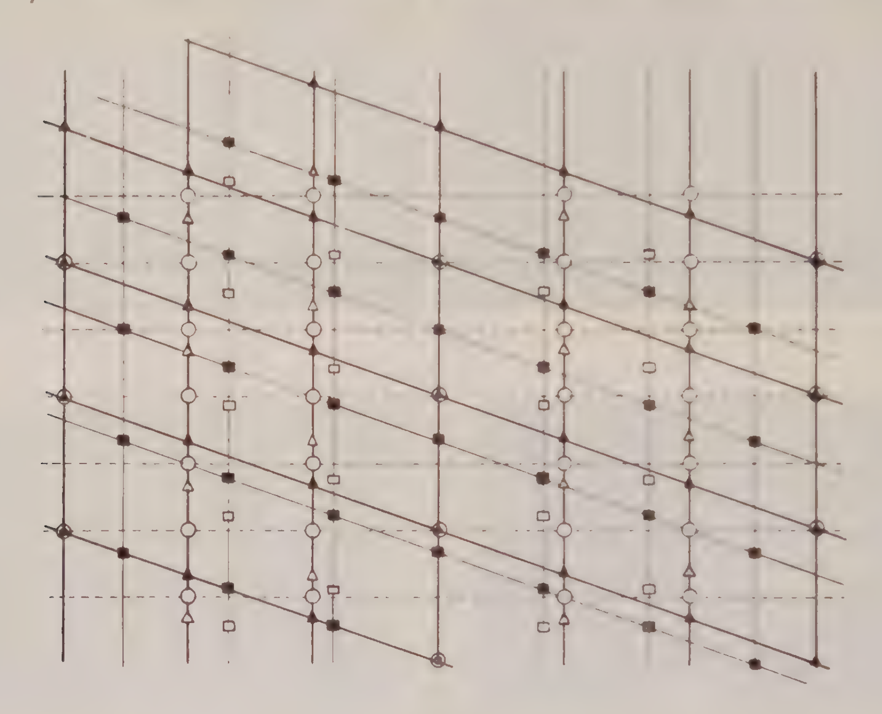


Diagramme.

dues à l'oxyde de cobalt subsistent.

L'oxyde de cobalt qui s'est formé lors de la deuxième évaporation existe donc sur toute l'épaisseur du dépôt.

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) L. Lafourcade, P. Larroque et Nguyen Quat Ti, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 230.

([2]) J.-J. Couderc, J. Garigue, L. Lafourcade et Nguyen Quat Ti, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2037.

(Laboratoire d'Optique électronique du C. N. R. S., Toulouse.)

DÉCHARGE DANS LES GAZ. — *Etude et mise au point expérimentale d'une diode à gaz à cathode chaude pour la réalisation d'un interrupteur hyperfréquence.* Note (*) de M. **Jean Godart**, présentée par M. Francis Perrin.

Il est montré que le temps de retard à l'allumage, et la puissance radioélectrique nécessaire à l'allumage d'une diode à gaz à cathode chaude, excitée par une énergie U. H. F., sont inférieurs à ceux d'une diode à gaz à électrodes froides. Ces diminutions sont d'autant plus importantes que la température de la cathode est plus élevée.

Nous avons entrepris l'étude d'un dispositif interrupteur de propagation d'ondes radioélectriques hyperfréquences de conception analogue à celle des dispositifs usuels, mais différent essentiellement par le remplacement de tube T. R. à électrodes froides, par une diode à gaz à cathode chaude suivant la proposition de M. Laporte.

L'interrupteur est formé par une diode à cathode frittée (103 C. S. F.) à grand pouvoir d'émission thermoélectrique, insérée dans une cavité résonante couplée à la ligne de transmission par un système d'iris circulaires à accord par vis. L'interruption de la propagation est produite par la brusque augmentation de la conductibilité de la diode, dès l'établissement d'un courant et par le désaccord qui en résulte pour la cavité.

Le dispositif interrupteur a d'abord été étudié, à bas niveau (faible puissance) et réalisé de façon à réduire au mieux la perte par insertion, afin de conserver le maximum de sensibilité à la réception; le taux d'ondes stationnaires et la largeur de bande correspondante ont été mesurés. Nous avons disposé comme générateur d'ondes U. H. F. d'un klystron réflexe VA 203 fournissant des ondes de 3 cm. Pour diminuer de la perte par insertion, la cavité a été munie de pièges U. H. F. diminuant les fuites bas niveau, et de couplages par iris accordés par vis, assurant une transmission et une surtension de cavité maximale.

La courbe (*fig.* 1) représente les variations de la perte par insertion en fonction de la fréquence pour un tube en pyrex et un tube en quartz. La courbe permet de délimiter le domaine d'utilisation en fréquences.

On notera en outre que la perte par insertion a été trouvée en première approximation sensiblement indépendante de la température de cathode.

La détermination plus précise du domaine de fonctionnement utile a été obtenue par l'étude du taux d'ondes stationnaires et de la largeur de bande. Les courbes 2 et 3 reproduisent respectivement les variations de ces grandeurs en fonction de la fréquence : le domaine de fréquence utilisée a été compris entre 9 210 à 9 330 MHz.

En nous plaçant dans ces conditions, nous avons entrepris :

1° une étude qualitative du temps de retard moyen à l'allumage;

2° une étude plus précise de la puissance radioélectrique hyperfréquence

nécessaire à l'allumage de la diode et de la puissance U. H. F. de fuite. Cette étude a été réalisée à haut niveau, avec comme générateur U. H. F. un magnétron fournissant des ondes de 3 cm ayant une puissance crête maximale de 40 kW. Cette puissance pouvant être modifiée de façon continue grâce à un diviseur de puissance variable.

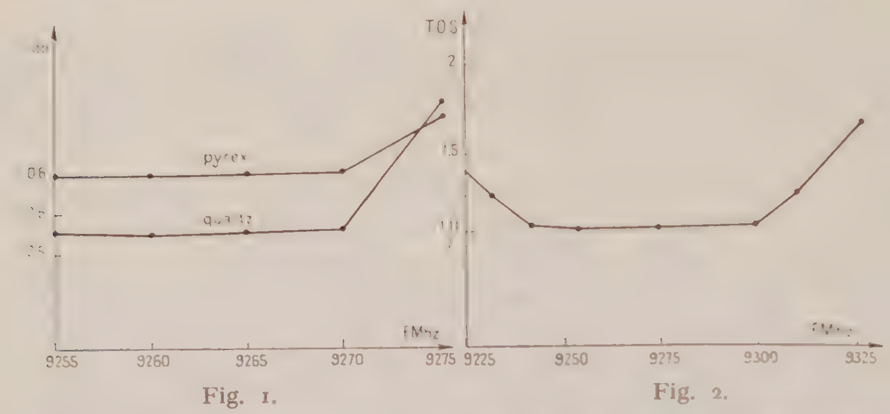


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Perte par insertion, en décibel, en fonction de la fréquence.
Fig. 2. — Courbe du taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence.

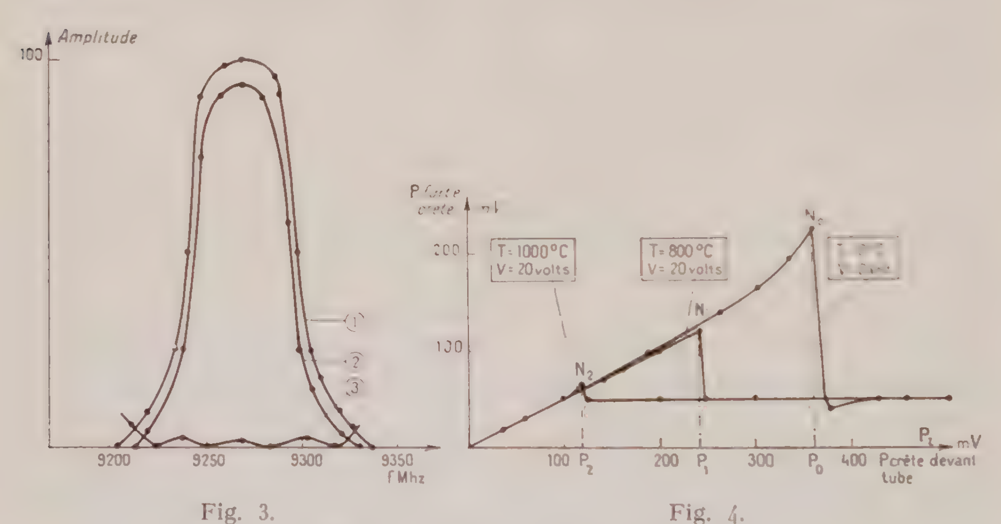


Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 3. — Largeur de bande.
Courbes des amplitudes relatives en fonction de la fréquence.
Courbe 1 : Onde incidente.
» 2 : » transmise.
» 3 : » réfléchie.

Fig. 4. — Courbe donnant la puissance de fuite en fonction de la puissance incidente. Impulsion de 0,5 μs et 800 p/s.

1. *Retard à l'allumage.* — Il a été remarqué que pour une même puissance incidente l'on obtenait un allumage quasi instantané avec la diode à électrode chaude et un allumage très retardé, ou même pas d'allumage pour la même diode sans chauffage de la cathode : le retard moyen à l'allumage est une fonction décroissante de la température de cathode.

2. *Diminution du niveau d'allumage.* — Sur la figure 4 sont portés, respectivement en abscisse et en ordonnée, la puissance incidente et la puissance transmise (puissance de fuite) pour différentes températures de cathode. Les abscisses des points N_0, N_1, N_2, fournissent les valeurs des niveaux d'allumage pour différentes températures T_0 (cathode froide) $T_1 < T_2$.

Lorsqu'on augmente progressivement la puissance incidente, la puissance de fuite lui est d'abord proportionnelle, jusqu'à l'ionisation du tube qui provoque une diminution brusque de la puissance de fuite, celle-ci demeure ensuite constante lorsque la puissance incidente continue à augmenter.

Les discontinuités qui apparaissent aux points N_0, N_1, N_2, de la figure 4, se produisent pour des puissances incidentes P_0, P_1, P_2, d'autant plus faibles que la température de la cathode est plus élevée. En particulier, la discontinuité P_0 est relative à la diode fonctionnant en cathode froide.

En conclusion, le remplacement d'une diode à gaz à cathode froide par une diode à gaz à cathode chaude permet, grâce à la diminution du temps de retard à l'allumage et du niveau d'énergie U. H. F. nécessaire à l'ionisation de gaz, d'assurer à la réception, l'énergie de fuite radioélectrique étant moindre, une protection plus efficace de cristaux.

L'étude du temps d'établissement de la décharge U. H. F. et du temps de désionisation fera l'objet d'une prochaine publication.

(*) Séance du 9 mai 1960.

RADIOÉLECTRICITÉ. — *Modulation en fréquence d'un oscillateur stabilisé de Pound.* Note (*) de M. **Klaus Leibrecht**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous avons réalisé la stabilisation d'un klystron reflex 2K25, grâce à un dispositif proposé par Pound [1] et très amélioré, et nous l'avons complété par un montage permettant sa modulation en fréquence dans une plage étroite.

1. Pour une stabilisation sur une fréquence unique, le réglage du montage est relativement simple et rapide [2]. Pour pouvoir effectuer la modulation, le réglage doit être exécuté beaucoup plus soigneusement, et l'on doit considérer quelques paramètres supplémentaires. Mais si toutes les parties du dispositif sont convenablement exécutées, un réglage systématique est possible.

2. *Les améliorations.* — 2.1. L'oscillateur M. F. est du type « Butler » stabilisé par quartz. Les deux chaînes d'amplification A_1 et A_2 (*fig.* 1)

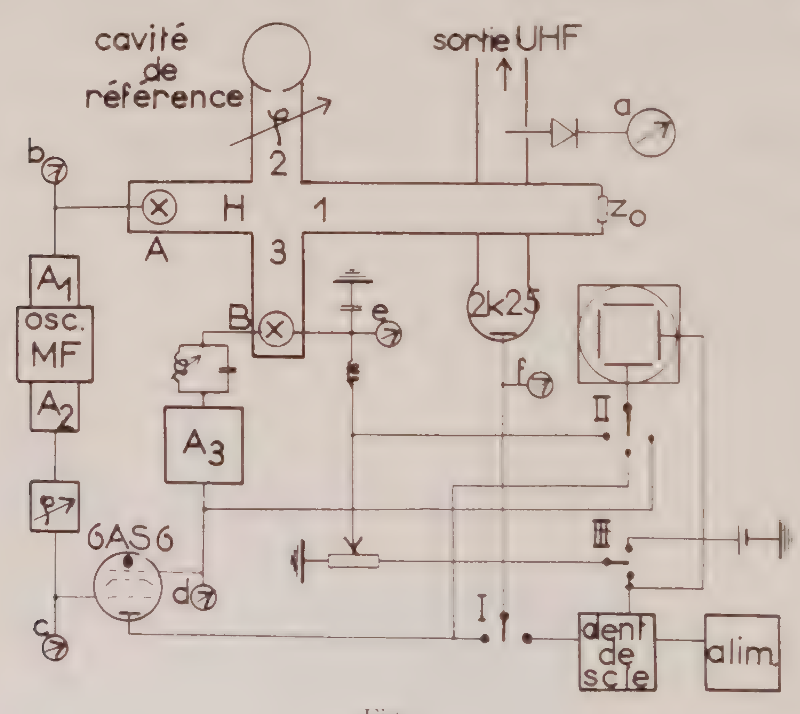


Fig. 1.

étant des amplificateurs à résonance aiguë, une stabilisation en fréquence de l'oscillateur augmente beaucoup la stabilité des amplitudes de sortie.

2.2. Le gain des deux amplificateurs A_1 et A_2 est réglable grâce à l'emploi de pentodes à pente variable et de résistances cathodiques réglables. Les amplitudes de sortie peuvent être surveillées en permanence avec des appareils de mesure *b* et *c* incorporés.

2.3. Un déphaseur M. F. réglable φ, agissant sur le signal de référence du détecteur synchrone permet une détection sans distorsion.

2.4. Un circuit résonnant M. F., monté directement à la sortie du cristal B, augmente le signal d'entrée de l'amplificateur A_3 de 20 dB environ.

2.5. Un galvanomètre *a*, relié à une sonde détectrice placée dans le guide d'ondes de sortie, contrôle en permanence le niveau d'énergie U. H. F. et permet de travailler toujours au milieu du mode du klystron pour éviter toute modulation de l'amplitude H. F. dans le discriminateur.

3. *La modulation.* — Le signal destiné à moduler en fréquence le générateur U. H. F. est appliqué au cristal B : en faisant varier la polarisation d'une diode montée dans un guide d'ondes, on fait varier l'impédance H. F. de ce montage et par suite le coefficient de réflexion.

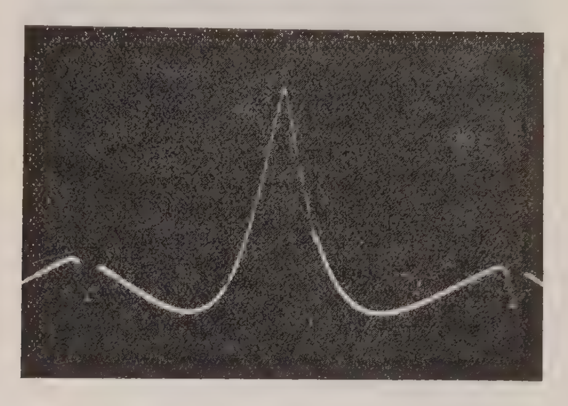


Fig. 2.

L'onde ainsi réfléchie par le cristal B se propage dans le bras H du discriminateur, est modulée en amplitude par le cristal A et retourne au cristal B. Il apparaît donc un signal d'erreur M. F. qui provoque une déviation de la fréquence du klystron par rapport à celle de la cavité de référence. Il s'agit d'un simple déplacement du point de fonctionnement sur la courbe de discrimination, et l'on conserve entièrement la stabilisation pour chaque fréquence ainsi obtenue.

La déviation de fréquence est limitée par la largeur de la courbe de discrimination. Cette largeur est identique à la « bande passante » de la cavité de référence et est de l'ordre de 1 MHz pour les cavités utilisées.

4. *Le réglage.* — Pour le réglage avant stabilisation, on module le klystron de façon classique [2]. Pour un réglage optimal il faut observer deux points :

4.1. La phase de l'onde qui se propage dans le discriminateur U. H. F. doit être réglée de façon que le cristal B détecte le signal représenté sur la figure 2. Il s'agit de la courbe de dispersion de la cavité de référence redressée, dont la phase varie de 180° au passage par le point f_0 [*voir* référence [2], éq. (16), p. 71].

4.2. Pour le détecteur synchrone, cette différence de phase des deux moitiés du signal est bien distincte. La phase de la tension de référence doit être réglée de façon à faire apparaître la courbe de la figure 3 à la sortie du détecteur synchrone; cette tension de sortie est injectée dans le réflecteur du klystron.

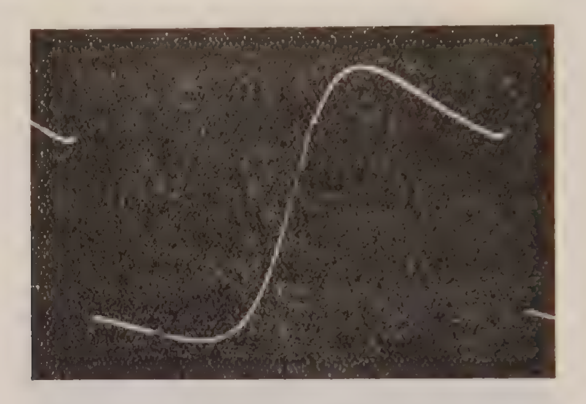


Fig. 3.

5. Pour moduler la fréquence stabilisée, on applique le signal de modulation au cristal B (amplitude maximale de 300 à 400 mV). La modulation se traduit par une modulation de la tension du réflecteur et peut être observée avec un oscilloscope.

L'efficacité du signal et la linéarité de la modulation dépendent beaucoup de tous les réglages précédents.

6. En appliquant un signal en dent de scie de tension crête 200 mV, nous avons observé une modulation de la tension du réflecteur en dent de scie très linéaire et d'une hauteur de 2,1 V, ce qui correspond à une modulation de fréquence de 2,4 MHz. La cavité de référence avait un Q assez faible. Le facteur de stabilisation $S = df_0/df$, était de 10^4 environ (df_0, déviation de fréquence sans stabilisation; df, déviation de fréquence avec stabilisation).

En utilisant des cavités ayant des facteurs de surtension plus élevés, on peut augmenter considérablement la stabilité mais la plage maximale de modulation décroît.

(*) Séance du 9 mai 1960.

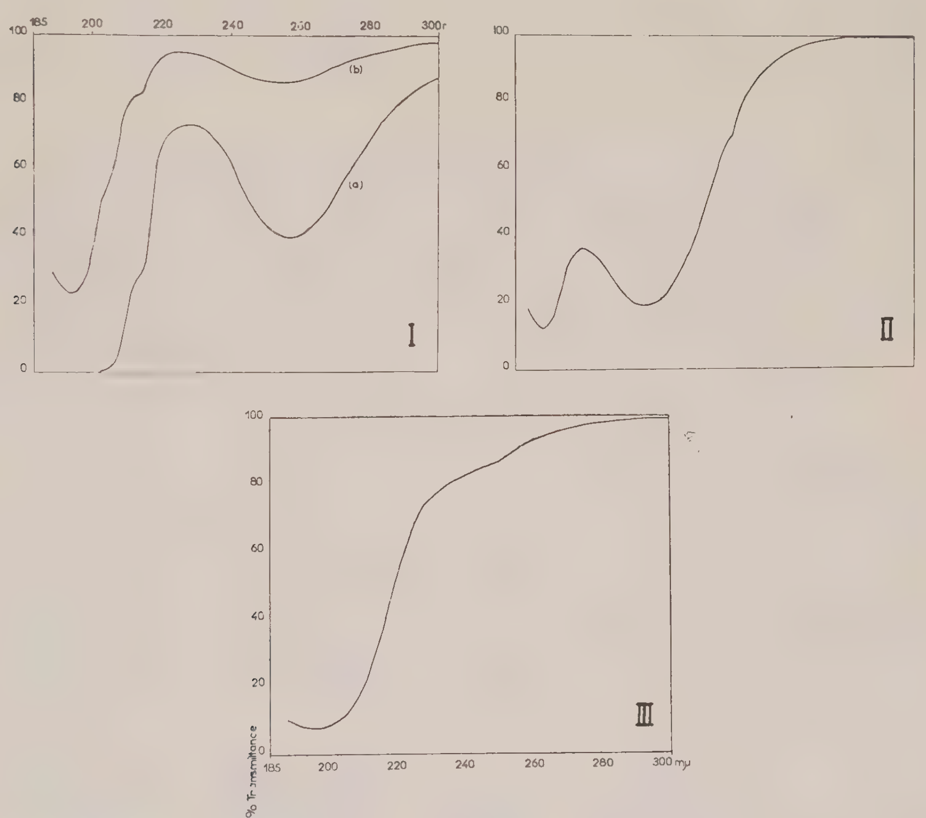
(1) MONTGOMERY, "*Technique of Microwave Measurements*", chap. I, II.

(2) HERVÉ, *Comptes Rendus*, t. 241, 1955, p. 746.

(*Laboratoire d'Électronique et Radioélectricité de la Sorbonne*, B. P. nº 9, *Fontenay-aux-Roses, Seine.*)

SPECTROSCOPIE MOLÉCULAIRE. — *Absorption ultraviolette de composés acétyléniques. Halogéno-1 alcynes-1.* Note (*) de MM. **René Romanet** et **Bruno Wojtkowiak**, présentée par M. Jean Lecomte.

On a vu [1] que les alcynes-1 à chaîne droite de C_5 à C_9 inclus présentent, à la limite de l'ultraviolet classique, une faible absorption de caractéristiques fixes (λ_{max} à 1 865 Å environ avec ε_{max} de l'ordre de 450). La substitution de l'hydrogène acétylénique vrai par un radical méthyle provoque un effet bathochrome ($\Delta\lambda_{max} = 40$ Å) et un effet hyperchrome (ε_{max} passant de 450 à 850).



Absorption ultraviolette des halogéno-1 octynes-1 (courbes en transmittance corrigées); solvant : heptane; épaisseur utile : 1,01 mm.

(I) Iodooctyne { a. $c = 12,5.\ 10^{-3}$ mole/l,
b. $c = 2,10.$ » »

(II) Bromooctyne : $c = 12,5.$ » »

(III) Chlorooctyne : $c = 12,01$ » »

Si nous considérons la substitution de l'hydrogène acétylénique par un halogène X nous devons prévoir :

— un effet inductif de signe contraire, X étant plus électronégatif que H (effet — I);

— un effet de conjugaison plus marqué que dans le cas de la conjugaison réduite (hyperconjugaison) due au substituant CH_3 : conjugaison entre le doublet libre p_y de l'halogène ($3\,p_y$, $4\,p_y$ ou $5\,p_y$ suivant que X = Cl, Br ou I) et le doublet $2\,\pi_y$ de la triple liaison C≡C; conjugaison entre le doublet libre p_z de l'halogène ($3\,p_z$, $4\,p_z$ ou $5\,p_z$) et le doublet $2\,\pi_z$ de C≡C. On est en présence d'un effet mésomère + M.

Ces deux effets sont de signe contraire et l'on peut penser que c'est l'effet inductif qui l'emporte.

Les halogéno-1 alcynes-1, utilisés dans cette étude, proviennent de préparations du laboratoire ([2]). Ils ont été purifiés par distillation de précision sous pression réduite en atmosphère d'azote. Les fractions utilisées pour l'étude spectroscopique avaient une pureté de l'ordre de 99,5 % déterminée par chromatographie en phase vapeur. Les solutions ont été préparées sitôt après distillation et les spectres d'absorption enregistrés immédiatement.

L'étude spectroscopique a été faite dans les conditions précisées précédemment ([1]); solvant : heptane. La figure donne les courbes de transmittance pour les halogéno-1 octynes-1 (courbes corrigées pour la lumière diffusée). Les autres alcynes-1 donnent des enregistrements pratiquement identiques. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau ci-dessous;

Halogéno-1 alcynes-1.	Solutions dans l'heptane. C(mole/l) × 10³.	λ_{max} (Å).	ε_{max} (mole⁻¹.l.cm⁻¹).
Iodopentyne	12,5 et 2,51	1 925	3 040
		2 000 (*)	–
		2 115 (*)	–
		2 553	340
Iodohexyne	12,2 et 2,03	1 925	3 050
		2 005 (*)	–
		2 115 (*)	–
		2 555	335
Iodoheptyne	12,5 et 1,90	1 920	3 000
		2 000 (*)	–
		2 120 (*)	–
		2 555	335
Iodooctyne	12,5 et 2,10	1 920	3 000
		2 000 (*)	–
		2 120 (*)	–
		2 557	340
Bromopentyne	12,3	1 890	750
		2 195	525
		2 450 (*)	–
Bromohexyne	12,1	1 890	740
		2 197	525
		2 450 (*)	–
Bromoheptyne	12,5	1 890	750
		2 195	530
		2 450 (*)	–
Bromooctyne	12,5	1 890	750
		2 195	525
		2 450 (*)	–
Chloropentyne	11,6	1 940 (**)	950
		2 300 (*)	–
		2 500 (*)	–
Chlorohexyne	11,8	1 940 (**)	960
		2 300 (*)	–
		2 500 (*)	–
Chloroheptyne	12,1	1 940 (**)	950
		2 300 (*)	–
		2 500 (*)	–
Chlorooctyne	12,0	1 940 (**)	950
		2 300 (*)	–
		2 500 (*)	–

(*) Épaulement.

(**) Bande très large.

ces résultats sont corrigés pour la lumière diffusée et les réserves faites précédemment [1] pour la zone 1860-1900 Å restent valables naturellement. Ils sont assez remarquables.

Si l'on considère, pour les substitutions de l'halogène, l'ordre I, Br, Cl, c'est-à-dire l'ordre des électronégativités croissantes, on observe :

— pour les dérivés iodés, une bande vers 1930 Å relativement intense ($\varepsilon_{max} = 3\,000$) et une large bande d'absorption faible à 2 555 Å ($\varepsilon_{max} = 340$);

— pour X = Br, ces deux bandes s'éloignent du visible, la première faiblement tout en devenant moins intense ($\lambda_{max} = 1\,890$ Å; $\varepsilon_{max} = 750$), la seconde notablement tout en devenant plus intense ($\lambda_{max} = 2\,195$ Å; $\varepsilon_{max} = 525$);

— pour X = Cl, l'évolution des deux bandes s'est poursuivie de façon analogue, et elles sont devenues trop proches l'une de l'autre pour pouvoir être séparées par l'instrument dans cette région spectrale. On obtient une bande très large, dont le centre est vers 1 940 Å, avec $\lambda_{max} = 950$.

La bande, vers 1 900 Å, des halogéno-1 alcynes-1 correspond certainement à la bande obtenue dans cette même région pour les alcynes-1 et -2.

Les résultats obtenus sont à rapprocher des résultats suivants :

1° En ce qui concerne la bande vers 1 900 Å :

— effets bathochromes croissants dans l'ordre Cl, Br pour la bande K des systèmes éthyléniques suivants [3], [4] :

$$X-C{=}C-C{=}C, \qquad X-C{=}C-C\begin{matrix}{/\!\!/}O\\ \diagdown O\end{matrix}, \qquad X-C{=}C-C{=}O;$$

— effets bathohyperchromes croissants dans l'ordre F, Cl, Br, I pour la bande E des manohalogénobenzènes [4].

2° En ce qui concerne la nouvelle bande :

— effets bathohypochromes croissants dans l'ordre F, Cl, Br, pour l'absorption B des monohalogénobenzènes [4], [5], [6]; mais ces effets sont plus marqués pour les halogéno-1 alcynes-1.

(*) Séance du 9 mai 1960.

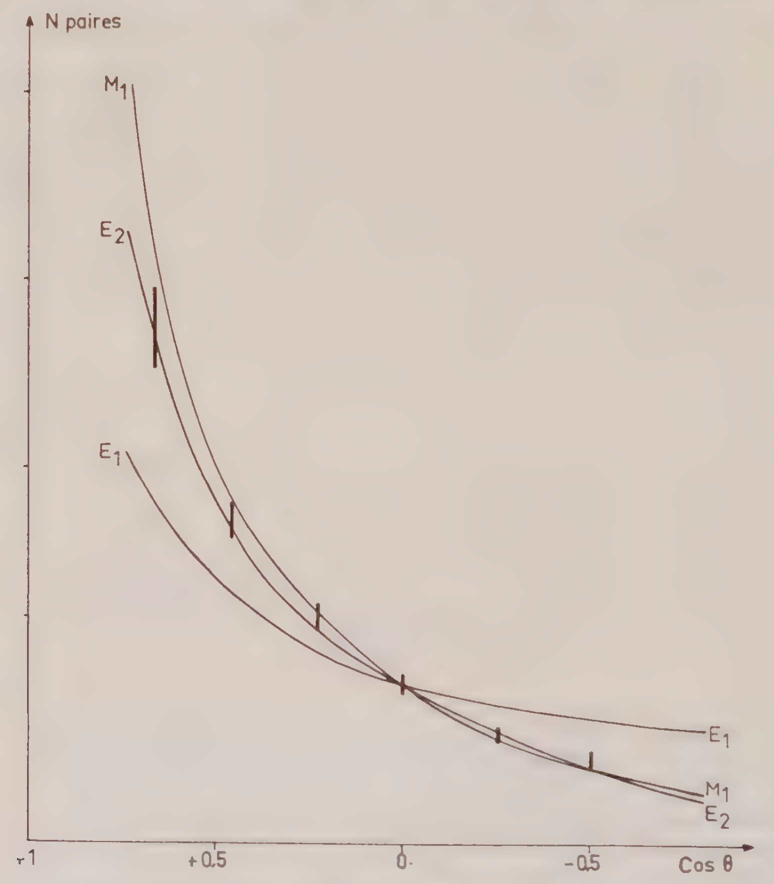
(1) B. Wojtkowiak et R. Romanet, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2865.
(2) B. Wojtkowiak (sous presse).
(3) K. Bowden, E. Braude et E. Jones, *J. Chem. Soc.*, 1946, p. 948.
(4) K. Bowden et E. Braude, *J. Chem. Soc.*, 1952, p. 1068.
(5) G. Förster et J. Wagner, *Z. Phys. Chem.*, B, 35, 1937, p. 343.
(6) W. Robertson et F. Matsen, *J. Amer. Chem. Soc.*, 72, 1950, p. 5252.

(Laboratoire de Chimie Générale, Faculté des Sciences de Caen.)

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Corrélation angulaire des paires de conversion interne de la transition 3,560 MeV du* ^{6}*Li*. Note (*) de MM. **Serge Gorodetzky, Gilbert Sutter, Fernand Scheibling, Pierre Mennrath, Pierre Chevallier** et **Raymond Armbruster**, présentée par M. Louis de Broglie.

La réaction ^{9}Be (p, α) présente une forte résonance pour une énergie de protons de 2,56 MeV. Cette résonance est attribuée à ^{9}Be (p, α) ^{6}Li*, avec ^{6}Li dans un état excité à 3,560 MeV. Ce niveau se désexcite par émission γ plutôt que par cassure en une particule α et un deutéron.

Nous avons entrepris d'étudier cette transition électromagnétique par la méthode de corrélation angulaire des paires de conversion interne.



Be^9 (p α) Li^6 Correlation angulaire des paires de conversion interne du niveau 3.560 Mev du Li^6.

La boîte de corrélation est une cloche à vide dans laquelle se trouvent les scintillateurs (NE 102) et les photomultiplicateurs. L'ensemble de ce dispositif expérimental a été décrit précédemment ([1]), ([2]). Ce dispositif a été modifié notamment par l'introduction d'adaptateurs d'impédance

à transistors. La cible utilisée était du beryllium métallique d'une épaisseur de 60 keV pour une énergie de protons de 2,56 MeV. Le nombre de paires par proton mesuré a été de $1,7.10^{-12}$ paire/proton pour un angle entre négaton et positon de 90°, des angles solides $\Omega_{e-} = \Omega_{e+} + = 1,6.10^{-2}$ et une discrimination de 250 keV. La figure montre les points expérimentaux normalisés à l'angle 90° avec les courbes théoriques dipolaire électrique E_1, quadrupolaire électrique E_2 et dipolaire magnétique M_1. Ces courbes théoriques ont été calculées en tenant compte des atténuations provoquées par les angles solides. On voit que la transition est magnétique dipolaire ou électrique quadrupolaire, la mesure ne permettant pas de distinguer ces deux possibilités.

Comme le niveau fondamental de ^{6}Li a un spin 1 et une parité positive, notre résultat donne, pour le deuxième niveau excité, une parité positive. Il est d'autre part en accord avec d'autres auteurs qui trouvent un spin 0 ([3]) et une multipolarité très probablement magnétique dipolaire ([4]), ([5]), ([6]), ([7]).

(*) Séance du 25 avril 1960.

([1]) S. Gorodetzky, P. Chevallier, R. Armbruster, A. Gallmann et G. Sutter, *Nuclear Physics*, 7, n° 6, 1958, p. 672.

([2]) S. Gorodetzky, P. Chevallier, R. Armsbruster, G. Sutter et A. Gallmann, *Nuclear Physics*, 8, n° 4, 1958, p. 412.

([3]) Stulzfus, Friichtenicht et Nelson, *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 1, 1956, p. 329.

([4]) Mackin, *Phys. Rev.*, 94, 1954, p. 648.

([5]) Rose et Warburton, *Phil. Mag.*, 2, 1957, p. 1468.

([6]) Leresque et Shafroth, *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 2, 1957, p. 303.

([7]) Way, *Nuclear Data Cards*, National Research Council, Washington, D. C., 1958.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Utilisation de la fonction aléatoire* $X(t) = \pm 1$ *à l'étude des lois de désintégration de radioéléments à filiations.* Note de MM. **Gilbert Landaud** et **Claude Mabboux**, présentée par M. Francis Perrin.

Calcul de la fonction d'autocorrélation de la réponse d'un système présentant deux états stables lorsqu'il est déclenché par les impulsions délivrées par un détecteur de particules soumis au rayonnement d'un élément radioactif. On traite le cas d'une désintégration en deux temps correspondant à une filiation radio-active ou à la présence d'un état métastable, et l'on tient compte de la proportion du nombre des mères au nombre des filles détectées.

Introduction. — La mesure de la durée de vie d'états métastables de corps radioactifs dans le domaine de 10^{-9} s présente certaines difficultés.

Afin d'éviter celles inhérentes aux méthodes de coïncidences retardées [1], considérons l'ensemble E des événements aléatoires $\mathcal{E}_i$, $\mathcal{E}_{i+1}$, ... constitué par l'émission de particules radioactives (aucune différentiation n'étant faite entre mères et filles).

A cet ensemble E, on associe la fonction aléatoire $X(t) = \pm 1$ [2] basculant alternativement entre $+1$ et -1 à l'apparition de chaque événement $\mathcal{E}_i$ [physiquement $X(t)$ correspond à la réponse d'une bascule bistable aux excitations d'un détecteur].

L'étude du coefficient de corrélation $C(h) = E\{X(t)\,X(t+h)\}$ de $X(t)$ en fonction du retard h [3] ou l'étude du spectre de l'énergie moyenne $A(\nu)$ de $X(t)$ [4] en fonction de la fréquence ν [2], permet de déduire la loi de probabilité du corps radioactif envisagé.

Calcul du coefficient de corrélation $C(h)$ *de* $X(t) = \pm 1$ *dans un processus de désintégration mère-fille.* — Soit $F(t)$, la probabilité pour qu'une mère naissant à l'instant o, ne soit pas désintégrée à l'instant t.

On suppose qu'un appareil détecte un pourcentage de α mères et β filles, les mères étant produites avec une densité moyenne ρ_0, suivant un processus de Poisson.

Si n est le nombre d'impulsions enregistrées entre o et h,

$$X(0)\,X(h) = (-1)^n = \cos n\pi$$

et il s'ensuit que

$$C(h) = E[X(0)\,X(h)] = E(e^{i\pi n}).$$

Soient n_1 le nombre de particules détectées entre o et h, provenant de la désintégration d'une fille dont la mère est née à $t < 0$ et n_2 celui provenant de mères, naissant entre o et h et éventuellement de leurs filles.

$n = n_1 + n_2$, n_1 et n_2 étant des variables aléatoires indépendantes, on obtient alors

$$C(h) = E(e^{i\pi n}) = E(e^{i\pi n_1})\,E(e^{i\pi n_2}) \qquad \text{et} \qquad \operatorname{Log} C(h) = \operatorname{Log} E(e^{i\pi n_1}) + \operatorname{Log} E(e^{i\pi h_2}).$$

Pour calculer $\operatorname{Log} E(e^{i\pi n_1})$ subdivisons $[-\infty, 0]$ en petits intervalles

$\Delta\theta_s$ $[\theta_s, \theta_{s+1}]$ et posons X_s la variable aléatoire égale à $+1$ si les deux événements suivants sont simultanément vérifiés :

I. Une mère naît sur l'intervalle $[\theta_s, \theta_{s+1}]$.

II. Sa fille naît entre o et h et est détectée.

Sinon posons $X_s = 0$. Dans ces conditions $n_1 = \Sigma_s X_s$ et les X_s étant indépendants :

$$\operatorname{Log} E(e^{i\pi n_1}) = \Sigma_s \operatorname{Log} E(e^{i\pi X_s}),$$
$$E(e^{i\pi X_s}) = 1 - 2 \operatorname{Prob}(X_s = 1) = 1 - 2\rho_0\beta[F(-\theta_s) - F(-\theta_s + h)]\Delta\theta.$$

Lorsque $\Delta\theta$ tend vers zéro, il en résulte que $\operatorname{Log} E(e^{i\pi X_s})$ est équivalent à

$$-2\rho_0\beta[F(-\theta_s) - F(-\theta_s + h)]\,d\theta.$$

et

$$(1) \qquad \operatorname{Log} E(e^{i\pi n_1}) = -2\rho_0\beta \int_{\infty}^{0} [F(-\theta) - F(-\theta + h)]\,d\theta$$

Le calcul de $E(e^{i\pi n_2})$ s'effectue de la même manière. Subdivisons $[0, h]$ en petits intervalles $\Delta\theta_k[\theta_k, \theta_{k+1}]$ et définissons les catégories d'événements suivantes :

I. Une mère naît entre θ_k et θ_{k+1}.

II. L'une des trois éventualités suivantes se produit :

a. cette mère est détectée et sa fille naît à $t > h$;

b. cette mère est détectée et sa fille naît à $t = t_1$, $0 < t_1 < h$, mais elle n'est pas détectée;

c. la mère n'est pas détectée, mais sa fille naît à $t = t_2$, $0 < t_2 < h$ et est détectée.

III. La particule mère est détectée, sa fille naît à $t = t_3$, $0 < t_3 < h$ et est également détectée.

Posons Y_k la variable aléatoire égale à $+1$ si les événements I et II se produisent simultanément; $Y_k = 2$ si ce sont les événements I et III qui se produisent. Enfin posons $Y_k = 0$ pour tout autre possibilité.

Dans ces conditions

$$n_2 = \Sigma_k Y_k \quad \text{et} \quad \operatorname{Log} E(e^{i\pi n_2}) = \Sigma_k \operatorname{Log} E(e^{i\pi Y_k}),$$
$$E(e^{i\pi Y_k}) = 1 - 2 \operatorname{Prob}(Y_k = 1).$$

L'événement II est la somme des événements disjoints *a*, *b*, *c*, donc la probabilité de réunion est la somme des probabilités de chaque éventualité, les probabilités des éventualités *a*, *b*, *c* étant respectivement

$$\rho_0\alpha F(h - \theta_k)\,\Delta\theta, \qquad \rho_0\alpha(1-\beta)[1 - F(h - \theta_k)]\Delta\theta, \qquad \rho_0\beta(1-\alpha)[1 - F(h - \theta_k)]\Delta\theta.$$

Lorsque $\Delta\theta$ tend vers zéro,

$$(2) \qquad \operatorname{Log} E(e^{i\pi n_2}) = -2\rho_0 \int_0^h \{\alpha F(h - \theta) + \alpha(1-\beta)[1 - F(h - \theta)] + (1-\alpha)\beta[1 - F(h - \theta)]\}\,d\theta.$$

Finalement, en additionnant les équations (1) et (2), $C(h)$ est explicité en fonction de $F(t)$.

Application. — Posons $F(t) = (1/\lambda)\, e^{-t/\lambda}$, λ, durée de vie de l'état métastable, d'où la relation entre $C(h)$ et λ,

$$-\frac{1}{2}\rho_0 \operatorname{Log} C(h) = (\alpha + \beta - 2\,\alpha\beta)\, h + 2\,\alpha\beta\lambda\left(1 - e^{-\frac{h}{\lambda}}\right).$$

Conclusion. — Il est physiquement très simple d'obtenir la fonction aléatoire $X(t) = \pm 1$. D'autre part, $X(t)$ ne prenant que deux valeurs $+1$ ou -1, la réalisation technique d'un corrélateur ou d'un analyseur énergétique harmonique se simplifie considérablement. Aussi pensons-nous que ces deux méthodes d'analyse peuvent être, par exemple, employées pour mesurer des durées de vie d'états métastables de l'ordre de 10^{-4} s.

Ce travail a été effectué avec la collaboration de M. Malliavin.

(1) LINDSTROM et CRASEMAN, *Rev. Scient. Instr.*, 30, 1959, p. 362.
(2) MABBOUX-TARIEL et MABBOUX, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1509.
(3) BLANC-LAPIERRE et DUMONTET, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1216.

(4) $A(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(h)\, e^{-2i\pi\nu h}\, dh.$

(*Laboratoire de Physique corpusculaire, Faculté des Sciences, Caen.*)

PHYSIQUE CORPUSCULAIRE. — *Preuve de l'existence d'une pression optimale à l'intérieur des sources haute fréquence à diaphragme donnant des ions positifs d'argon.* Note (*) de MM. **Daniel Blanc** et **André Degeilh**, présentée par M. Gaston Dupouy.

On étudie la variation du courant ionique extrait d'une source à excitation haute fréquence remplie d'argon, en fonction du débit du gaz : l'intensité du courant est maximale quand la pression dans la source est de 21,5 μ de mercure. Cette valeur maximale passe de 750 μA pour un débit de 0,2 cm³/h à 1700 μA pour un débit de 25 cm³/h (tension d'extraction, 4 000 V; tension d'accélération, 15 000 V).

On trouvera dans nos publications antérieures (¹) la description de la source d'ions et du dispositif de mesure de la pression dans la source. La figure 3 donne la disposition géométrique des diaphragmes employés; leurs diamètres φ sont de 0,4, 0,8, 1, 1,2, 1,6, 2, 2,2, 2,6 et 3 mm. La vitesse de pompage est de 600 l/s. Dans toutes nos mesures, la tension d'extraction a été maintenue égale à 4 000 V; la fréquence du générateur haute fréquence (H. F.) (puissance de 40 W) est de 195 MHz.

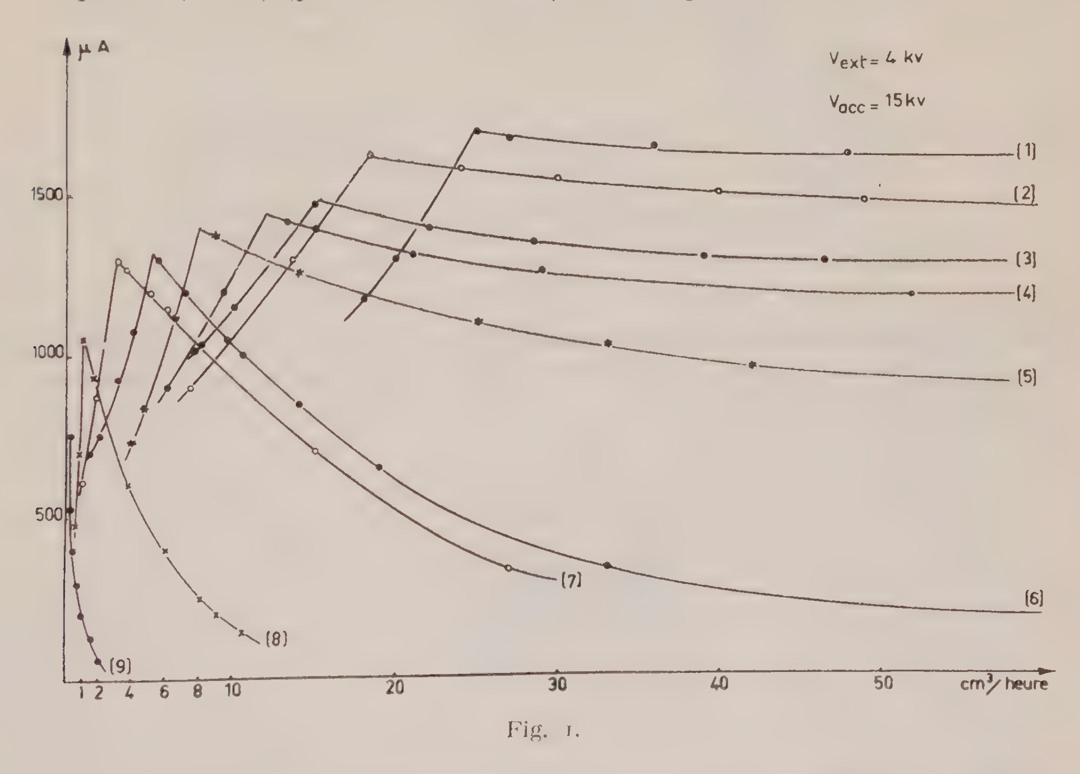


Fig. 1.

Variation du courant ionique en fonction du débit d'argon. — La réserve d'argon est maintenue sous la pression atmosphérique, au fur et à mesure qu'on introduit le gaz dans la source; le débit mesuré correspond ainsi aux conditions normales de température et de pression. On trouvera sur

la figure 1 la variation de l'intensité du courant ionique avec le débit, dans le cas où la tension d'extraction est égale à 15 000 V : les courbes présentent toutes un maximum. L'existence d'un tel maximum avait été signalée dans le cas de l'hydrogène ([2]), ([3]). On remarquera qu'en augmentant

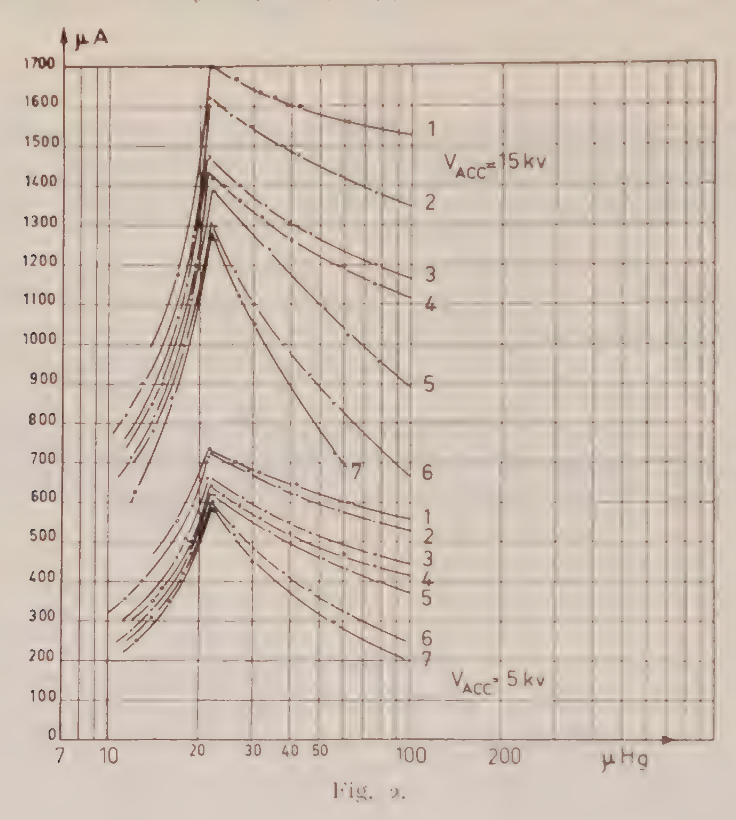


Fig. 2.

de 1 à 3 mm la valeur de φ, on gagne peu sur la valeur de l'intensité maximale (1 300 à 1 700 µA), alors que le débit gazeux est fortement augmenté (3 à 25 cm³/h).

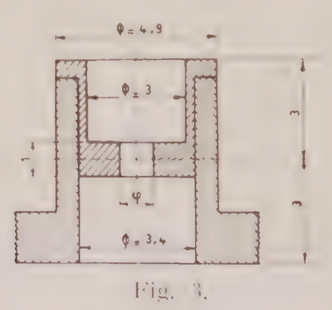


Fig. 3.

Mise en évidence d'une pression optimale. — Pour chaque valeur du débit gazeux, la pression dans la source est mesurée, et la figure 2 donne la variation du courant ionique avec cette pression, pour des tensions d'accélération de 5 à 15 kV. Certains auteurs ([1]), ([5]), opérant sans diaphragme, et avec un canal d'extraction de diamètre donné, ont montré que la courbe

du courant en fonction de la pression passe par un maximum. Nous prouvons ici que, quel que soit le diamètre du diaphragme, il existe une pression optimale constante, les conditions d'excitation et d'extraction restant les mêmes. Cette pression doit correspondre à la probabilité maximale d'ionisation à l'intérieur de la source. Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des mesures :

φ (mm).	0,4.	0,8.	1.	1,2.	1,6.	2.	2,2.	2,6.	3.
N° correspondant sur les courbes.	9.	8.	7.	6.	5.	4.	3.	2.	1.
Débit (cm³/h) correspondant à l'intensité maximale...	0,2	1	3	5	8	12	15	18,5	25
Intensité maximale (μA) V_{acc} = 5 kV...	260	450	600	610	620	640	670	710	730
Intensité maximale (μA) V_{acc} = 15 kV...	750	1050	1300	1325	1400	1450	1490	1625	1700
Pression dans la source (μ Hg)................	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
Pression dans la chambre d'observation (mμ Hg) (1).	1,8	2,8	3,6	4,5	10	13	15	18	25

Il reste à déterminer l'influence sur cette pression optimale, de la puissance du générateur haute fréquence et de sa fréquence, ainsi que de la tension d'extraction.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) D. Blanc et A. Degeilh, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 1647; *J. Phys. Rad.*, 20, 1959, p. 55-A.

(2) R. N. Hall, *Rev. Sc. Instr.*, 19, 1948, p. 905.

(3) L. K. Goodwin, *Rev. Sc. Instr.*, 24, 1953, p. 635.

(4) E. Cilensek, F. Cvelbar et V. Ramsak, *J. Stefan Inst. Rep.*, 3, 1956, p. 87.

(5) R. Hölz et H. Löb, *Z. Naturforschg*, A, 13*a*, 1958, p. 602.

(Laboratoire d'Optique électronique du C. N. R. S., Toulouse.)

NEUTRONIQUE. — *Application du diagramme à deux paramètres à l'étude de la stabilité des réacteurs nucléaires.* Note (*) de M. **Augustin Blaquière**, présentée par M. Francis Perrin.

L'auteur applique la méthode générale du diagramme à deux paramètres, qu'il a précédemment introduite et développée, aux équations de bouclage qui interviennent dans le comportement des réacteurs nucléaires. La théorie de H. A. Bethe ([6]) apparaît comme une conséquence de cette méthode.

1. *Les systèmes bouclés non linéaires. Rappel.* — Dans une précédente Note ([1]), nous avons étendu la théorie de Nyquist aux systèmes bouclés non linéaires, en introduisant un *paramètre de fonctionnement*. Dans le cas d'un autooscillateur non linéaire, c'est l'amplitude d'oscillation a, ou une fonction de l'amplitude, qui joue ce rôle. La fonctionnelle qui le régit se présente sous la forme $H(p, a)$, avec $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$).

Nous nous sommes plus particulièrement intéressé aux fonctionnelles non linéaires du type

$$H_1(p) + \frac{3a^2}{4} H_2(p),$$

où $H_1(p)$ et $H_2(p)$ sont deux fonctionnelles linéaires.

V étant la variable d'évolution, l'équation de fonctionnement est alors

$$\left[H_1(p) + \frac{3a^2}{4} H_2(p) \right] V = 0. \tag{1}$$

Nous en avons déduit en particulier les résultats suivants :

1° Le diagramme de Nyquist de la théorie linéaire est remplacé par un diagramme à deux paramètres a et ω. On est ainsi conduit à représenter sur le plan complexe deux familles de courbes : les « courbes équiamplitudes » (a constant) et les « courbes équipulsations » (ω constant).

2° L'équiamplitude qui passe par l'origine, si elle existe, définit la limite de stabilité, et fixe l'*amplitude limite*. L'équipulsation qui passe par l'origine définit alors la « *pulsation limite* ».

3° Pour le type de fonctionnelle adopté, *les équipulsations sont des droites*. On en déduit une construction simple des équiamplitudes à partir des deux diagrammes linéaires représentatifs de H_1 et H_2. On peut ainsi extrapoler graphiquement les résultats expérimentaux obtenus à faible amplitude, pour des amplitudes plus élevées et, par conséquent, prévoir des instabilités.

4° L'analyse des phénomènes de synchronisation des oscillateurs non linéaires nous a conduit à étudier l'équation

$$\left[H_1(p) + \frac{3a^2}{4} H_2(p) \right] V = f(t), \tag{2}$$

où $f(t)$ est une excitation extérieure.

5° Nous avons été amené aussi à appliquer une méthode de perturbation au voisinage d'un niveau stationnaire donné, pour en déduire une condition de stabilité de ce niveau. Lorsque le niveau est stable, on obtient ainsi la constante de temps de retour au régime stationnaire. L'effet d'une petite excitation (perturbation aléatoire due au bruit de fond) $f(t)$, au voisinage d'un niveau stationnaire nous a conduit à une équation de perturbation :

$$\left[H_1(p) + \frac{9a^2}{4} H_2(p) \right] v = f(t) \qquad (3)$$

(v, perturbation du régime).

2. *Les réacteurs nucléaires.* — L'introduction d'une dépendance fonctionnelle entre la réactivité et la puissance P du réacteur conduit à la loi d'évolution non linéaire

$$[k_e - Q(p) + PR(p)]P = 0,$$

k_e, facteur de multiplication excédentaire réglable par les barres de contrôle; R (p) et Q (p), fonctionnelles linéaires.

Une méthode de perturbation, au voisinage d'un niveau de puissance donné, conduit à l'équation

$$[Q(p) - PR(p)]\Delta P = 0 \quad \text{si } k_e \text{ est constant,}$$
$$[Q(p) - PR(p)]\frac{\Delta P}{P} = \delta k_e(t) \quad \text{si } k_e \text{ est fonction du temps,}$$

ΔP, perturbation du régime, $\delta k_e(t)$ variation de k_e.

Ces équations sont de la forme (1), (2), (3), P jouant le même rôle que a^2, d'où les conséquences :

1° On saura construire le diagramme à deux paramètres de la fonctionnelle Q (p) — PR (p).

2° Les limites d'instabilité spontanée s'en déduisent comme au paragraphe 1.2.

3° *Les équipulsations sont des droites.* Comme au paragraphe 1.3, il sera facile d'extrapoler graphiquement les résultats expérimentaux obtenus à faible puissance, aux puissances élevées, d'où la prévision des instabilités.

4° Lorsque k_e est une fonction du temps imposée, l'étude des variations de régime est analogue à celle des équations (2) et (3). On en déduit les résonances du réacteur.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 345.

(2) *J. Phys. Rad.*, 13, 1952, p. 527 et 636.

(3) *Thèse de Doctorat de Physique* et *Ann. Radioélect.*, 8, 1953, p. 36 et 153.

(4) *Mécanique non linéaire, les oscillateurs à régimes quasi sinusoïdaux* (*Thèse de Doctorat de Mathématiques*, 1957).

(5) *Mém. Sc. Math.*, 1960.

(6) H. A. Bethe, *Reactor safety and oscillator tests*, A.P.D.A. 117, octobre 1956.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Les transformations polymorphiques des cristaux de nitrates de métaux bivalents hexahydratés* $(NO_3)_2M.\ 6H_2O$ *où* $M = Zn, Mg, Mn, Cu$. Note (*) de Mlle **Paulette Pouillen**, présentée par M. Gustave Ribaud.

L'étude des cristaux de nitrate de nickel hexahydraté [1] et des cristaux de nitrate de cobalt hexahydraté [2], a permis de mettre en évidence, pour l'un et l'autre sel, un certain nombre de transformations polymorphiques avec chaleurs latentes et discontinuités de volume, parfois considérables.

Ces résultats nous ont conduit à étudier par les mêmes méthodes, en particulier analyse thermique différentielle et dilatométrie, les cristaux d'autres nitrates de métaux bivalents cristallisant avec 6 mol d'eau : nitrates de zinc, magnésium, manganèse et cuivre.

Les cristaux, obtenus par évaporation lente d'une solution aqueuse, à une température généralement comprise entre 15 et 22° C et dont l'hydratation est vérifiée par analyse, sont étudiés depuis — 180° C et jusqu'à leurs températures respectives de fusion.

$(NO_3)_2Zn,\ 6H_2O$. — Les cristaux de nitrate de zinc hexahydraté, refroidis depuis la température ordinaire jusqu'à — 180° C présentent, au cours du réchauffement ultérieur, deux transformations avec chaleur latente. Celles-ci ont lieu à $-13 \pm 2°$ C et $+19 \pm 1°$ C. La première de ces transformations s'accompagne d'une légère contraction tandis qu'à + 19° on observe une forte dilatation du sel. Les valeurs relatives de ces deux discontinuités de volume sont respectivement — 0,1 et + 4 %.

Au cours du refroidissement des cristaux on peut observer à $-11 \pm 4°$ C une transformation, qui se manifeste par un dégagement de chaleur et une diminution relative de volume de 3 à 4 %.

La fusion aqueuse du sel intervient vers + 38° C.

Outre ces deux transformations polymorphiques, on peut observer, par températures croissantes, d'autres anomalies thermiques : une transformation du deuxième ordre à $-116 \pm 4°$ C et une transformation à $-31 \pm 1°$ C qui est probablement du deuxième ordre mais qui peut, dans certains cas, se présenter comme une transformation du premier ordre diffuse. Ces deux transitions s'accompagnent non plus de discontinuités de volume mais de brusques changements de pente sur la courbe donnant le volume en fonction de la température.

$(NO_3)_2Mg,\ 6\ H_2O$. — Les cristaux de nitrate de magnésium, étudiés dans les mêmes conditions, c'est-à-dire par températures croissantes, à partir de — 180° C, et jusqu'à leur température de fusion $+89 \pm 1°$ C subissent deux transformations polymorphiques d'importance très différente et plusieurs transformations d'ordre supérieur.

Les deux transformations polymorphiques ont lieu à — 13 ± 2° C et à + 70 ± 1° C. La première est assez peu accentuée et la chaleur latente mise en jeu est très faible; elle s'accompagne d'une discontinuité de volume inférieure à 0,1 % en valeur relative. La deuxième transformation se manifeste à + 70° par une absorption de chaleur beaucoup plus importante et s'accompagne d'une contraction isotherme dont la valeur relative est de 0,4 %. Cette transformation polymorphique, comme celle observée à + 19° pour les cristaux de nitrate de zinc s'accompagne d'hystérèse thermique car, au refroidissement, c'est à + 62 ± 3° C qu'on observe un dégagement de chaleur au sein des cristaux et une augmentation de volume de 0,3 à 0,4 %.

$(NO_3)_2Mn, 6 H_2O$; $(NO_3)_2Cu, 6 H_2O$. — Les cristaux de nitrate de manganèse hexahydraté et ceux de nitrate de cuivre hexahydraté, se comportent de manière comparable au-dessous de la température ordinaire.

Refroidis jusqu'à — 180° C et étudiés par températures croissantes, ces cristaux présentent une transformation avec chaleur latente et discontinuité de volume. Ces transformations sont observées à — 37 ± 1° C pour le sel de manganèse et à — 25 ± 1° C pour le sel de cuivre. Elles sont accompagnées, pour chacun des deux sels, d'une légère contraction dont la valeur relative est de l'ordre de 0,1 % (0,08 % pour les cristaux de nitrate de manganèse et 0,14 % pour ceux de nitrate de cuivre).

Pour ces deux sels on observe en outre, à la même température de — 5 ± 1° C, une légère anomalie thermique qui semble correspondre à une transition du deuxième ordre.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) J. JAFFRAY et N. RODDIER, *J. Recherches C. N. R. S.*, n° 31, juin 1955, p. 252.

(2) P. POUILLEN et J. JAFFRAY, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3129.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur quelques variétés d'acétate anhydre de calcium.* Note (*) de Mmes **Léone Walter-Lévy** et **Jacqueline Laniepce**, présentée par M. Paul Pascal.

L'étude du système CaO-$(CH_3CO)_2O$-H_2O à 25° a permis de mettre en évidence la formation de sels acides et de sels neutres à 0,5 et 1 H_2O (1).

En opérant à température plus élevée, nous avons pu obtenir un acétate anhydre par action de l'oxyde de calcium sur l'anhydride acétique dilué ou non par de l'acétate de butyle (2). Nous avons en particulier suivi en fonction du temps les réactions qui se produisent à partir du mélange, porté à l'ébullition et soumis à une agitation mécanique, de 200 ml d'ester, 0,08 mol d'anhydride et 0,04 mol de chaux. L'examen des phases solides par les rayons X indique la disparition lente des raies de l'oxyde. Au bout d'environ 6 h, les films sont vides de raies; la forme amorphe persiste pendant 2 h environ et fait place ensuite à un sel de spectre α.

Les composés amorphes et de spectre α, séparés de leur liqueur mère par filtration, puis évaporation dans des étuves réglées à 75, 125 et 175°, gardent leurs caractéristiques cristallines.

A 125°, au bout de quelques heures, l'acétate α prend un poids constant et le composé amorphe continue de subir de légères pertes de poids. Les analyses chimiques effectuées après 1 jour à 125°, indiquent que, respectivement, les teneurs en calcium sont de 25,3 et 25,7 % et les rapports stœchiométriques de l'anhydride au calcium de 1,00 et 0,98 pour la variété α et la forme amorphe. Ces données étant théoriquement égales à 25,3 et 1,00 pour $Ca(CH_3COO)_2$, les deux sels peuvent être considérés comme neutres et anhydres, la variété cristalline étant la mieux définie.

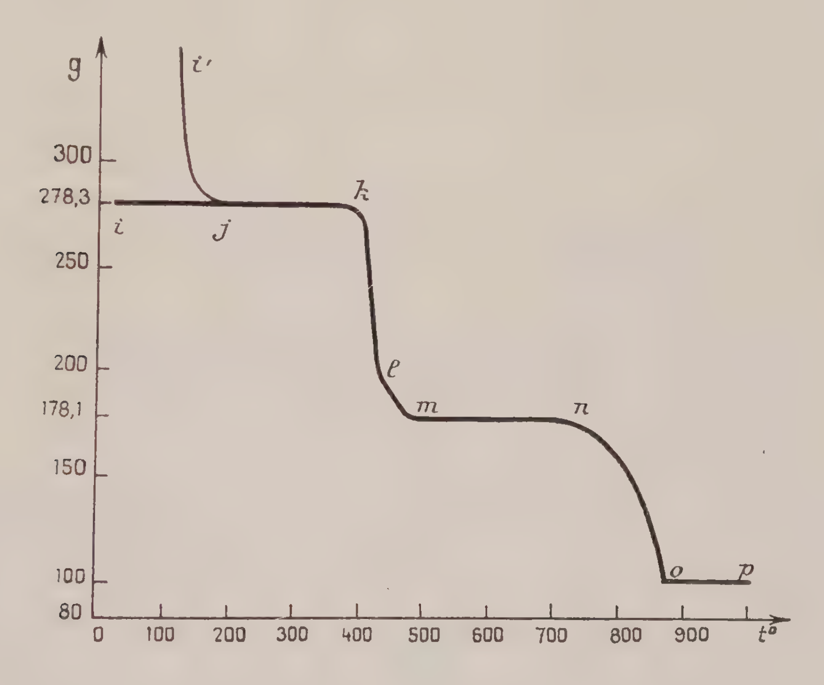
Ces deux formes d'acétate anhydre ainsi que la variété β qui sera trouvée ultérieurement, se transforment à l'air à la température ordinaire, avec reprise de poids, en $Ca(CH_3COO)_2$, 0,5 H_2O au bout de 1 jour pour la variété amorphe, 2 jours pour β, 15 jours pour α.

Le sel amorphe et l'acétate α ont été soumis à des thermolyses, à l'aide d'une thermobalance à enregistrement graphique à température ascendante, la vitesse de chauffe étant de 300° par heure, et à température constante. Les résidus de décomposition ont été examinés par diffraction de rayons X et analyses chimiques.

A température ascendante, à partir du sel amorphe non séché, nous avons obtenu la courbe *i'jklmnop* qui indique, en fonction de la température, le poids des phases solides rapporté à 100 g de chaux. La branche de courbe *i'j* correspond au départ de la liqueur mère. Les paliers *jk*, *mn* et *op* qui s'étendent respectivement de 200 à 395°, de 460 à 700° et de 875° aux températures élevées, sont relatifs au sel anhydre, au carbonate et à l'oxyde. Les transformations sont quantitatives à 3 % près. La décom-

position de l'acétate anhydre est très rapide, particulièrement jusqu'au point d'inflexion *l* situé aux environs de 420° qui révèle un composé intermédiaire. La courbe relative au sel séché à 125° commence par le palier *ik* correspondant au sel anhydre.

Si l'on examine aux rayons X les phases solides obtenues en arrêtant les essais avant décomposition complète, des raies commencent à apparaître à 200°, qui à 225° se précisent en un nouveau diagramme β; de 230 à 390°, les spectres β et α se juxtaposent; à 395°, il n'y a plus que α. Le passage de l'acétate amorphe aux composés β puis α n'étant marqué par aucune inflexion de la courbe, β est une deuxième variété cristalline de l'acétate anhydre.



Pendant la décomposition rapide, il se produit un léger charbonnement et des points d'ignition, les analyses rœntgenographiques décèlent un mélange de phases dont les proportions varient avec les prises d'essai. De 400 à 420°, on peut trouver, à côté de l'acétate α, un composé de diagramme nouveau L, des traces de calcite et même parfois d'aragonite; au-delà de 420°, les raies de la calcite s'accentuent et les autres spectres disparaissent.

La courbe thermogravimétrique, tracée à partir de la variété α est identique, comme il y avait lieu de le penser, à celle obtenue à partir de la variété amorphe puisque celle-ci se transforme à 395° en variété α. Les réactions sont, dans ce cas, quantitatives à 1 % près.

Les thermolyses effectuées à température constante conduisent à des phases identiques à celles obtenues à température ascendante en ce qui concerne leur nature; elles prennent naissance toutefois à des tempéra-

tures plus basses; ainsi, la variété β, en mélange avec α, apparaît au bout de 16 h à 200° au lieu de 220°. La décomposition de la variété α en calcite peut se produire très lentement et sans charbonnement dès 350°. Elle se produit de plus en plus rapidement à mesure que la température s'élève : au bout de 9 jours à 350°, 2 jours à 380°, 1 h à 385°. Ces durées sont variables selon les préparations; le charbonnement commence si elles sont inférieures à 1 h, de 385 à 395°. La phase L se forme toujours, soit en mélange avec α, soit en mélange avec la calcite.

Les distances réticulaires et les intensités correspondantes des deux variétés anhydres et du composé L sont les suivantes :

$Ca(CH_3COO)_2$, variété α : 11,0 FF; 10,4 FF; 9,88 FF; 7,89 m; 7,73 f; 6,46 m; 6,32 F; 5,98 m; 5,73 fff; 5,57 fff; 5,46 ff; 5,38 ff; 5,20 ff; 4,95 ff, 4,54 fff; 4,48 ff; 4,26 f; [illegible] m; 4,14 ff; 4,08 ff; 3,93 fff; 3,83 f; 3,80 fff; 3,72 fff; 3,69 f; 3,59 ff; 3,54 fff; 3,49 F; 3,3[illegible] m; 3,28 F; 3,23 ff; 3,17 fff; 3,14 fff; 3,10 ff; 3,07 m; 2,99 f; 2,93 ff; 2,90 ff; 2,84 fff; 2,81 fff; 2,74 fff; 2,71 ff; 2,69 fff; 2,64 ff; 2,57 fff; 2,55 ff; 2,49 fff; 2,46 fff; 2,41 fff; 2,39 fff; 2,35 f; 2,31 f; 2,26 m; 2,23 f; 2,22 f; 2,18 ff; 2,16 fff; 2,05 ff; 2,02 fff; 1,98 f; 1,95 ff; 1,90 ff; 1,89 ff; 1,87 f; 1,81 f; 1,76 fff; 1,72 fff; 1,70 fff; 1,66 fff; 1,64 fff; 1,62 ff; 1,58 fff.

$Ca(CH_3COO)_2$, variété β : 15,4 FF; 9,44 FF; 8,98 F; 7,77 m; 7,16 f; 6,51 fff; 5,27 ff; 4,97 fff; 4,32 fff; 4,20 ff; 4,06 ff; 3,91 fff; 3,80 fff; 3,71 fff; 3,63 ff; 3,59 fff; 3,54 fff; 3,50 fff; 3,42 m; 3,29 ff; 3,06 fff; 3,02 fff; 2,93 ff; 2,86 fff; 2,80 f; 2,65 fff; 2,59 fff; 2,51 fff; 2,44 fff; 2,38 fff; 2,21 ff; 2,12 ff.

Composé L : 20,9 F; 17,6 FF; 10,7 f; 8,54 f; 7,19 fff; 3,93 f; 3,82 ff; 3,75 fff; 3,62 ff; 3,53 fff; 3,30 m; 3,26 ff; 3,20 fff; 3,12 m; 2,97 F; 2,86 fff; 2,58 fff; 2,49 f; 2,41 fff; 2,30 f; 2,26 ff; 2,16 fff; 2,11 fff; 2,04 fff; 1,96 fff; [illegible] m; [illegible] fff; [illegible] fff; [illegible] f; [illegible] fff; 1,60 ff; 1,53 fff; 1,51 ff; 1,45 ff; 1,43 fff; 1,34 fff; 1,30 ff; [illegible] fff.

Les équidistances des variétés α et β sont différentes de celles données par Hanawalt (3) pour un acétate anhydre.

Nous avons donc pu mettre en évidence trois nouvelles variétés d'acétate neutre anhydre de calcium, l'une amorphe, les deux autres cristallines, α et β, la forme α étant la plus stable. Au-dessus de 400°, pendant la transformation rapide de l'acétate anhydre en calcite, un point d'inflexion de la courbe thermogravimétrique à température ascendante et un diagramme de rayons X caractéristiques accusent la complexité de la réaction.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1553.

(2) Un acétate anhydre a été obtenu à 270° par action de l'anhydride vapeur sur la chaux, par E. M. Bramdas et M. M. Shemyakyn, *Chem. Abstr.*, 43, 1949, p. 1317 i.

(3) *Index to the X Ray powder data file*, 1957, A.S.T.M., Philadelphia.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Solubilité de la zéine dans le mélange binaire eau-éthanol.* Note (*) de M. **Jacques Mossé**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

La courbe de solubilité de la zéine dans le solvant binaire eau-éthanol a été déterminée. Sur un diagramme triangulaire zéine-eau-éthanol, cette courbe sépare la zone à une phase (solubilité absolue) de celle à deux phases. On constate que même à l'intérieur du domaine de solubilité absolue, la zéine subit une agrégation d'autant plus importante que la composition de la solution est plus proche de la saturation.

On a étudié la solubilité de la zéine dans le solvant binaire eau-éthanol en fonction de la composition de ce solvant, à température constante. Quelques mesures avaient déjà auparavant été faites par Dill [1], mais cet auteur avait presque uniquement envisagé la variation de solubilité de la zéine avec la température.

Une partie essentielle du travail a consisté dans la détermination du domaine de solubilité absolue de la zéine dans les mélanges eau-éthanol. Les résultats sont figurés sur un diagramme triangulaire où l'on a porté les compositions pondérales des systèmes zéine-eau-éthanol correspondant à la solubilité limite. La courbe de solubilité absolue ainsi tracée est une courbe de saturation, c'est-à-dire le lieu des points de trouble ou encore des seuils de précipitation ou de coacervation [2]. Elle divise le diagramme en deux régions. L'une à l'intérieur de laquelle tous les systèmes zéine-eau-éthanol forment une phase unique qui est une solution; c'est le domaine de solubilité absolue. L'autre pour laquelle les systèmes zéine-eau-éthanol se séparent en deux (ou plusieurs) phases.

Dans le cas présent cette courbe revêt une forme de cloche (*fig.*). Elle a été établie en préparant toute une série d'échantillons de différentes compositions dont on examinait l'aspect à l'équilibre, c'est-à-dire après plusieurs jours si besoin était. Pour chacune des trois parties de la courbe correspondant respectivement aux deux branches latérales et à la portion supérieure incurvée, ces échantillons ont été obtenus par des moyens différents dont le détail est exposé ailleurs.

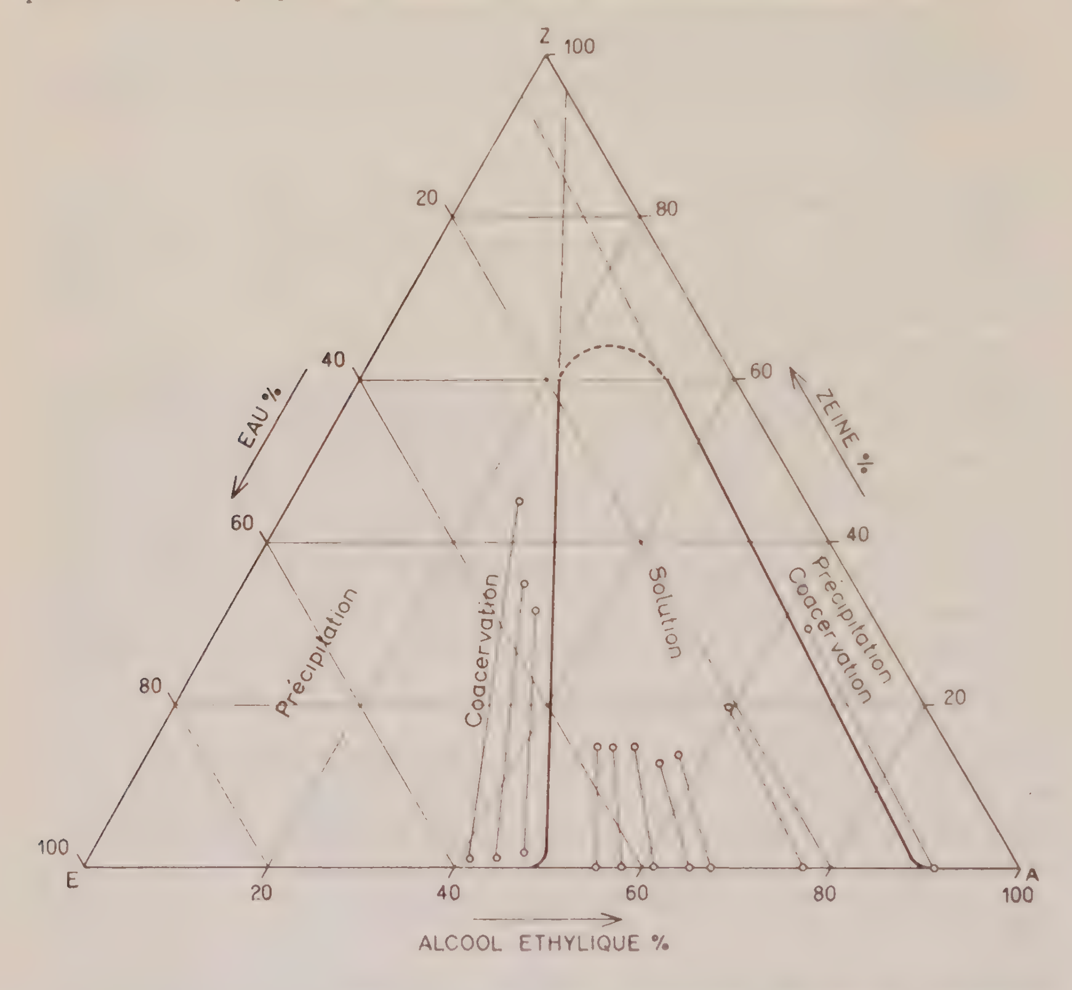
On a opéré de la sorte à plusieurs températures (entre 20 et 60° C). Lorsque la température croît, les deux branches de la courbe s'écartent et le domaine de solubilité s'élargit.

A température fixe, la solubilité de la zéine présente trois régimes distincts suivant la proportion de zéine.

1° Au-dessus de 60 % de zéine, la solubilité passe par un maximum; étant donné la difficulté de savoir si des systèmes aussi concentrés en protéine sont bien à l'équilibre, le tracé de cette partie de la courbe est sujet à quelques réserves, et a été représenté pour cela en pointillé. Il semble que *la zéine ne soit pas soluble en toute proportion.*

2° Pour des proportions allant de 1 à 60 % de zéine, les deux branches

de la courbe de solubilité sont des droites avec une bonne approximation. La *solubilité de cette protéine varie donc linéairement en fonction de la composition du système;* et comme les prolongements de ces droites passent au voisinage du sommet Z correspondant à la zéine pure, il en résulte que cette *solubilité peut être considérée en première approximation comme indépendante de la proportion de zéine* dans l'intervalle considéré.



On remarque au passage que ces deux branches linéaires de la courbe de solubilité appartiennent à la famille des lignes de conjugaison qu'on peut tracer dans les deux domaines du diagramme : domaine de coacervation situé de part et d'autre du domaine de solubilité et où chaque ligne de conjugaison joint les points figuratifs de deux phases liquides en équilibre; et domaine de solubilité dans lequel chaque ligne de conjugaison joint un point représentant une solution de zéine à un point figurant le mélange eau-éthanol en équilibre à travers une membrane avec cette solution de zéine ([3]).

3° Enfin pour des proportions inférieures à environ 1 % de zéine, les deux branches de la courbe de solubilité se raccordent tangentiellement

au côté eau-éthanol du diagramme, ce qui confirme le fait que *le régime des interactions des solutions de protéine change complètement au voisinage de cette concentration* ([2]).

Le spectre d'absorption de solutions de zéine a été tracé avec un spectrophotomètre enregistreur, dans la bande allant de 250 à 320 mμ. Il présente un maximum d'absorption aux environs de 278 mμ, comme pour toutes les protéines contenant des acides aminés à noyau aromatique. Les solutions contenaient toutes 0,1 % de zéine, mais des quantités différentes d'éthanol, comprises entre 50 et 88 %. On constate que l'absorption de la lumière varie avec la composition en éthanol : quand celle-ci croît de 50 à 88 %, l'absorption à une quelconque longueur d'onde de l'intervalle étudié passe par un minimum pour environ 75 % d'éthanol; la densité optique est alors inférieure de 15 % en valeur relative à celle correspondant à 50 ou à 85 % d'éthanol (les courbes sont décalées les unes par rapport aux autres parallèlement à l'axe des densités optiques). En réalité, c'est le taux de lumière diffusée qui passe par un minimum pour 75 % d'éthanol et qui augmente de part et d'autre de cette valeur. Autrement dit *la zéine présente un optimum de solubilité dans le mélange eau-alcool à 75 % d'éthanol* et forme des agrégats dès que la composition du solvant s'écarte de cette valeur, c'est-à-dire au fur et à mesure que les solutions sont plus proches de la saturation. Cette agrégation augmente d'ailleurs avec le temps et peut être ainsi décelée non seulement pour des proportions de zéine de l'ordre de 0,1 % mais encore avec des solutions 10 à 100 fois plus concentrées. A ceci correspond aussi le fait que c'est dans un mélange eau-éthanol à 75 % que la zéine en poudre se dissout le plus rapidement.

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) D. B. DILL, *J. Biol. Chem.*, 72, 1927, p. 239.

([2]) J. MOSSÉ, *J. Chim. Phys.*, 56, 1959, p. 461.

([3]) J. MOSSÉ, *Ann. I. N. R. A.*, série A, 8, n° 2 *bis*, 1957, p. 41.

(Station centrale de Physiologie, C. N. R. A., Versailles.)

THERMODYNAMIQUE CHIMIQUE. — *Étude thermodynamique du système cyclohexanol-cyclohexane.* Note (*) de Mlle **Janine Chevalley**, présentée par M. Paul Pascal.

Les pressions de vapeur du système cyclohexanol-cyclohexane ont été mesurées par la méthode dynamique à différentes températures. Les coefficients d'activité, le degré moyen d'association et l'énergie libre d'excès ont été déduits de ces mesures.

Les pressions de vapeur du système cyclohexanol-cyclohexane ont été mesurées par la méthode dynamique et dans les mêmes conditions que celles du système phénol-tétrachlorure de carbone [1]. Les pressions partielles du cyclohexanol sont un peu plus élevées que celles du phénol; mais l'écart entre les densités du cyclohexanol et celles du cyclohexane étant moindre, la composition du distillat n'est déterminée qu'à 3.10^{-4} près. Les puretés du cyclohexanol et du cyclohexane ont été vérifiées avec soin [2]. Les notations utilisées sont les suivantes, l'indice A étant relatif au cyclohexanol et l'indice B au cyclohexane :

Tableau des pressions de vapeur.

t°C.	x_A.	y_A.	P. (mm Hg).	p_A (mm Hg).	x_A.	y_A.	P. (mm Hg).	p_A (mm Hg).
	0	0	149.9	0	0.168	0,0049	141.0	0.69
	0,009$_5$	0.0018	148.5	0,27	0.278	0.0054	135.5$_5$	0.74
35,00...	0,031	0,0028	147,0$_5$	0.41	0.339	0,0058	132.8	0,77
	0,061	0,0042	145,5	0,63	0.471	0,0074	123.5	0,91
	0,080	0.0040	144.8	0.60	0,624	0.0100	108.8	1.09
	0	0	224.2$_5$	0	0.203	0.0077	208.5	1.60
	0,002$_8$	–	223.2$_5$	–	0.287	0.0090	201.6	1.81
	0,006$_5$	0,0018	222.9	0.40	0,386	0.0104	192.5	1.93
45,00...	0,012$_4$	0.0028	222.2	0.62	0.444	0.0100	186.8	1.87
	0,025$_6$	0,0034	220.7	0,73	0.576	0.0116	168.5	1.94
	0,060	0.0047	217.8	1.02	0,665	0.0160	150.6	2.41
	0.124	0.0063	214,1$_5$	1.39	0,675	0.0166	147.9	2.45
	0	0	324.6	0	0.275	0.0098	291.4	2.90
	0.001	–	324.5	–	0.405	0.0127	275.4	3.51
	0.005$_6$	0.0020	323.0	0.65	0.512	0.0144	255.2	3.70
55,00...	0.023	0.0040	319.5	1.28	0.576	0.0178	240.6	4.27
	0.050	0.0054	316.2$_5$	1.70	0.622	0.0178	228.2	4,06
	0.118	0.0070	309.3	2.16	0,66	0.0194	217.2$_5$	4.2
	0.154	0.0082	305.5	2.50	0.72	–	195.5	–

Marges d'erreur : $\Delta x_A = 10^{-3}$; $\Delta y_A = 3.10^{-4}$; $\Delta P = 0.15$ mm Hg; $\Delta p_A = 0.05$ mm Hg à 35°, 0,07 mm Hg à 45°, 0.10 mm Hg à 55°.

x_A et x_B, fractions molaires de la phase liquide;
y_A et y_B, fractions molaires de la phase vapeur;
P, pression totale;

p_A et p_B, pressions partielles de A et B;

$f_A = p_A/p_A^0\,x_A$ et $f_B = p_B/p_B^0\,x_B$, coefficients d'activité de A et B dans le système de référence symétrique;

p_A^0 et p_B^0, pressions de vapeur des corps purs A et B.

Tableau des coefficients d'activité.

x_A.	$f_{A\,35°}$ $p_A^0 = 1{,}44$.	$f_{A\,45°}$ $p_A^0 = 3{,}28$.	$f_{A\,55°}$ $p_A^0 = 5{,}68$.	$f_{B\,35°}$	$f_{B\,45°}$	$f_{B\,55°}$
0.01........	14.9	14.6	14	1	1	1
0.02........	12	11,3	10.6	1,003	1,003	1,003
0.05........	6,8	6,6	5.9	1,021	1,020	1,019
0.10........	4.17	4	3,17	1,062	1,060	1,057
0.20........	2.53	2.42	2,34	1,158	1,154	1,146
0.30........	1,87	1.83	1,79	1,275	1,268	1,255
0.40........	1,53	1.50	1.49	1,423	1,407	1,393
0.50........	1.32	1,31	1.30	1,605	1,582	1,565
0.60........	1,18	1.17	1.17	1,845	1,804	1,773

$\Delta f_A/f_A$ est de l'ordre du centième et $\Delta f_B/f_B$ de l'ordre du millième.

Le coefficient f_A aux solutions diluées a été obtenu à l'aide des valeurs de p_A calculées grâce à la relation de Beatty-Calingeart ([3])

$$\frac{\dfrac{dp_A}{dx_A}}{\dfrac{p_A}{x_A}} \qquad \frac{\dfrac{dp_B}{dx_B}}{\dfrac{p_B}{x_B}},$$

en partant des concentrations moyennes où p_A est mieux connu.

Étant donné que $f_B = 1$ pour $x_A = 0{,}01$, cela veut dire que pour $x_A < 0{,}01$, nous avons $p_B = p_B^0\,x_B$, d'où

$$\frac{dp_B}{dx_B} = p_B^0; \qquad \frac{p_B}{x} = p_B^0.$$

Le second membre de l'équation de Beatty-Calingeart ([3]) est égal à 1 et il doit en être de même du premier membre : $p_A = f(x_A)$ est alors une droite de pente p_A^0; dans le cas d'un corps associé, p_A^0 est différent de p_A^0 et représente en fait la pression qu'aurait ce corps s'il n'était pas associé. Il s'ensuit que, pour $x_A < 0{,}01$, les valeurs p_A/x_A et f_A sont constantes. Il n'en est pas de même dans le cas du système phénol-tétrachlorure de carbone où le système n'est idéal que pour des valeurs de x_A de l'ordre du millième. Nous avons pris comme valeur limite de f_A lorsque x_A tend vers zéro les valeurs de f_A pour $x_A = 0{,}01$.

Les valeurs du pourcentage de monomolécules α $[\alpha = (1/f_B)\,(f_A/\lim\limits_{x_A \to 0} f_A)]$ et du degré moyen d'association χ_A $[\chi_A = x_A\,f_B/(1 - x_B\,f_B)]$ définis dans la théorie des solutions idéales associées de Prigogine ([4]) sont données dans

le tableau suivant :

x_A.	$\alpha_{35°}$.	$\alpha_{45°}$.	$\alpha_{55°}$.	$\chi_{A\,35°}$	$\chi_{A\,45°}$	$\chi_{A\,55°}$
0,05....	0,446	0,443	0,412	1,70	1,65	1,60
0,10....	0,264	0,258	0,248	2,50	2,32	2,20
0,20....	0,147	0,144	0,145	3,15	3,00	2,76
0,30....	0,098	0,098	0,100	3,60	3,38	3,10
0,40....	0,072	0,073	0,076	3,88	3,61	3,40
0,50....	0,055	0,056	0,059	4,06	3,78	3,57
0,60....	0,043	0,044	0,046	4,24	3,90	3,64

Marges d'erreur : $\Delta\alpha \mathrel{\#} 0,1\,\alpha$; $\Delta\chi_A$ diminue lorsque la concentration et la température augmentent : pour $x_A = 0,10$, $\Delta\chi_A = 0,11$ à 35°, 0,08 à 45°, 0,04 à 55° ; pour $x_A = 0,60$, $\Delta\chi_A = 0,04$ à 35°, 0,03 à 45°, 0,02 à 55°.

Le coefficient α diminue d'abord très rapidement avec la concentration ; ensuite, pour $x_A > 0,2$, les variations de α avec la concentration sont moins importantes. Parallèlement, le degré moyen d'association χ_A croît d'abord très rapidement avec la concentration, puis aux solutions concentrées, devient presque stationnaire au voisinage de la valeur 4.

L'influence de la température est plus nette sur le degré moyen d'association χ_A que sur α, car χ_A est connu avec une meilleure précision que α ; χ_A diminue lorsque la température augmente : ceci est tout à fait normal, les complexes polymoléculaires ayant tendance à se dissocier sous l'effet de l'agitation thermique. Si nous comparons nos résultats (extrapolés à 20°) avec ceux relatifs à d'autres alcools ([2]) ou au phénol ([1]), nous voyons que le cyclohexanol est moins associé que le méthanol, l'éthanol ou le phénol.

Les valeurs maximales de l'énergie libre d'excès g_E (pour $x_A = 0,4$) sont respectivement égales à 234, 232 et 233 ($\pm$ 7) cal/mol à 35, 45 et 55° ; ces valeurs sont un peu inférieures à celles observées pour les systèmes comprenant du méthanol, de l'éthanol ou du phénol qui sont un peu plus associés, donc moins idéaux. Il n'y a pas de variation sensible de g_E avec la température : ceci indique que la contribution entropique s_E [$s_E = -(dg_E/dT)$] à l'énergie libre d'excès doit être très faible et que, pratiquement, toute l'énergie libre d'excès est de nature enthalpique.

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) H. Brusset et J. Chevalley, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3016.

([2]) J. Chevalley, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1672.

([3]) J. A. Beaty et C. Calingeart, *Ind. Eng. Chem.*, 26, 1934, p. 904-909.

([4]) I. Prigogine et R. Defay, *Thermodynamique chimique*, Desoer, Liège, 1950.

(*Laboratoire de Chimie de l'École Centrale des Arts et Manufactures.*)

CHIMIE THÉORIQUE. — *Étude de la zone K des carbures cancérogènes par la méthode analogique de la cuve électrolytique.* Note (*) de M. **Pierre Renaud** et Mme **Danièle Relinger**, présentée par M. Paul Pascal.

Mise en évidence, sur des dérivés de l'anthracène, d'une zone K, à plus fort champ électrique, en portant les électrodes représentatives des atomes à des potentiels proportionnels à leur charge électronique.

Rodier [1] a utilisé les anneaux de Nobili [2], [3], pour obtenir une représentation de la densité électronique entre les atomes d'une molécule, analogue à celle que donnent les diagrammes de Fourier-Patterson. Sur les conseils de M. P. Pascal, il avait entrepris l'étude des carbures cancérogènes par cette méthode afin de mettre en évidence la plus forte densité électronique de la zone K définie par Pullmann [4], [5], [6]. Rodier représentait les atomes de carbone par des aiguilles d'acier verticales très proches d'une plaque de cuivre horizontale, servant de cathode. Le potentiel positif de chaque aiguille était proportionnel, soit à la charge électronique totale de l'atome (6*e* pour C), soit à la charge ρ calculée par les méthodes de la Mécanique ondulatoire [6].

Pour des raisons qui seront exposées ultérieurement par l'un de nous, nous avons préféré à cette méthode celle de la cuve électrolytique [7]. D'autre part, nous avons cherché non pas à comparer nos diagrammes à ceux de Patterson mais à mettre en évidence la zone K dans les carbures cancérogènes.

Nous représentons un atome de carbone A_i, de noyau N_i, par un cercle horizontal C_i, en fil de cuivre, de diamètre 5 cm situé dans un plan horizontal à 5 cm au-dessus de la plaque de référence, qui est une feuille de cuivre ou d'aluminium, recouvrant une planche dans laquelle sont fichés des tubes de verre définissant les centres N_i des cercles C_i. Un tel cercle est porté à un potentiel alternatif (50 Hz) $V_i = 10$ V par rapport à la plaque. La distance entre les noyaux de deux atomes (1,4 Å) est représentée par 12 cm, donc avec un agrandissement voisin du milliard, de façon à utiliser au mieux la surface de la cuve (100×150 cm²). Il a fallu substituer un cercle à une pointe pour représenter A_i, de façon à obtenir une répartition plus régulière des courbes équipotentielles. Dans un atome de carbone nous comptons non pas la charge totale 6*e*, mais la charge des électrons de covalence, soit 4*e*. Dans le cas du benzanthracène et de ses dérivés l'atome d'hydrogène n'est pas représenté, mais sa charge est reportée sur le carbone qui le porte, auquel la charge 5*e* est donc attribuée.

Dans ces conditions apparaissent des différences appréciables entre les zones K des dérivés de l'anthracène qui peuvent s'expliquer sommairement ainsi :

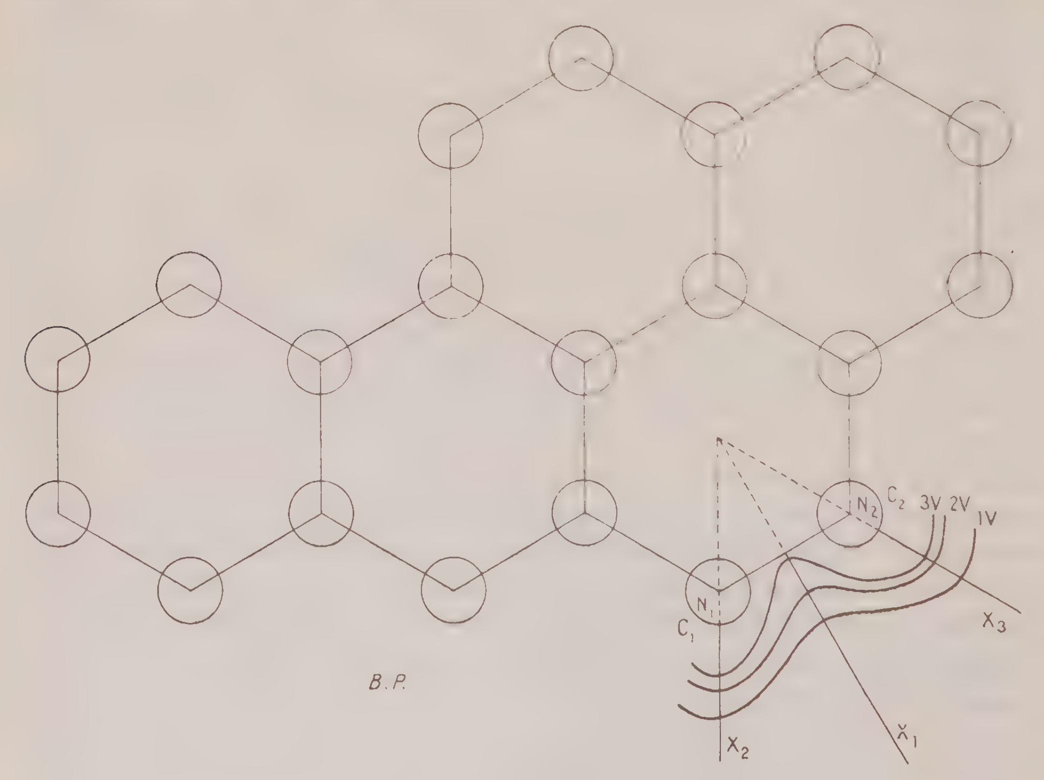
En représentant la charge q_i d'un atome A_i par une équipotentielle C

circulaire, portée au potentiel V_i volts, nous matérialisons une des équipotentielles concentriques à q_i (supposée concentrée en N_i) et nous considérons l'effet de cette charge à une distance r_i, à supposer qu'elle soit seule dans cette région, ce qui est faux. En réalité, elle est entourée de charges voisines et leur ensemble crée au point M le champ résultant $\vec{E}$, donné par les relations

$$\vec{E} = \overrightarrow{\text{grad}}\, V = \sum H \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i = H q_i \sum \frac{\vec{u}_i}{r_i^2}$$

si q_i est constant. On voit alors que $\vec{E}$ varie avec la configuration géométrique de la molécule. Il en résulte une plus grande valeur de $\vec{E}$, pour le dibenzo (1-2-7-8) anthracène (1-2-7-8) que pour le dibenzo (1-2-5-6) anthracène (1-2-5-6).

Un changement de la répartition des charges q_i dont la somme reste constante, amène donc une déformation des équipotentielles dans la zone K, qui se révèle sur les réseaux des courbes équipotentielles données par la cuve, laquelle est d'ailleurs une machine à résoudre l'équation de Laplace $\Delta V = 0$. Nous avons dressé un tableau donnant pour les deux dibenzoanthracènes (1-2-5-6) et (1-2-7-8) et pour le benzo-3-4 pyrène (B. P.) les valeurs des abscisses X des points d'intersection des équipotentielles avec certaines droites ainsi définies :



1° Les abscisses X_1 sont comptées suivant la médiatrice de l'axe $N_1 N_2$ des atomes A_1, A_2 de la zone K, à partir de l'axe $N_1 N_2$.

2° Les abscisses X_2 sont comptées sur la droite qui joint le centre du cycle hexagonal (auquel appartient la zone K) au noyau N_1 de A_1 le plus proche de la région méso de l'anthracène.

3° Les abscisses X_3 sont comptées de façon analogue sur la droite joignant le centre de l'hexagone au noyau N_2 du deuxième atome A_2 de la zone K.

Carbure.	Activité cancérigène.	Charge théorique.	Potentiel V 1.	2.	3.	5.	7.	Abscisse X.
1-2-5-6......	++	0,778	81	52	25	–	–	X_1
1-2-7-8......	+	0,780	87	43	15	–	–	X_1
B. P.........	++++	0,784	60	36	6	–	–	X_1
1-2-5-6......	–	–	83	57	44	34	28	X_2
1-2-7-8......	–	–	87	57	43	32	27	X_2
B. P.........	–	–	76	51	41	31	28	X_2
1-2-5-6......		–	86	56	47	35	29	X_3
1-2-7-8......	–	–	71	53	44	32	27	X_3
B. P.........	–	–	72	52	44	33	29	X_3

Les abscisses X_2 et X_3 sont comptées à partir du cercle de cuivre C_1 ou C_2, porté au potentiel 10 V. Toutes les abscisses sont exprimées en millimètres.

Les abscisses X_1 ne peuvent plus être définies au-delà du potentiel 3,5 V.

Ce tableau montre que les abscisses X_2 et X_3 sont sensiblement identiques pour les trois carbures; par contre les abscisses X_1 relatives aux potentiels 2 et 3 V diffèrent notablement. Les équipotentielles correspondantes se rapprochent d'autant plus de l'axe N_1N_2 que la charge théorique ρ de la région K, qui l'entoure, est plus élevée. Celo revient à constater le parallélisme entre la charge théorique ρ et le gradient de potentiel ou champ électrique $\vec{E}$, du moins dans un certain domaine de potentiels.

La concordance des résultats théoriques et expérimentaux, nous encourage à considérer les modèles d'autres carbures.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) G. Rodier, *Comptes rendus*, 224, 1947, p. 391 et *Diplôme d'Études supérieures* soutenu le 12 juillet 1947 à Poitiers.

(2) H. Bouasse, *Cours de Magnétisme et d'Électricité*, Delagrave, 1914, 1re partie, p. 169.

(3) J. Granier, *Introduction à l'étude des champs physiques*, Dunod, Paris, 1941, p. 200.

(4) A. et B. Pullmann, *Cancérisation par les substances chimiques et structure moléculaire*, Masson, Paris, 1955, p. 76.

(5) R. Truhaut, *Les facteurs chimiques de cancérisation*, Sedes, p. 49.

(6) A. et B. Pullmann, *Les théories électroniques de la Chimie organique*, Masson, Paris, 1952.

(7) Surugue, *Techniques générales du laboratoire de Physique*, 2, chap. 15, édition C. N. R. S., 1950.

(*Laboratoire de Chimie I, Faculté des Sciences, Paris.*)

CHIMIE MINÉRALE. — *Formation de trimétaphosphate au cours de la déshydratation des orthophosphates monoalcalins.* Note (*) de MM. **Maurice Porthault** et **Jean-Claude Merlin**, présentée par M. Georges Chaudron.

Tous les orthophosphates monoalcalins, excepté celui de sodium, conduisent par déshydratation, à des polyphosphates linéaires de poids moléculaire plus ou moins élevé. L'orthophosphate monosodique donne, dans certaines conditions, un métaphosphate cyclique $(NaPO_3)_3$ ([1]), ([2]), ([3]).

Le trimétaphosphate de sodium peut s'obtenir, soit par la méthode de Knorre ([illegible]), qui consiste à déshydrater du phosphate disodique en présence de nitrate d'ammonium, soit par la méthode de Jones ([illegible]) par déshydratation et recuit de phosphate monosodique.

Au cours d'une première série d'études, nous avons étudié l'influence de la pression d'air sec et de vapeur d'eau, du rayon ionique du cation alcalin (Li, Na, K, Rb et Cs) sur l'orientation de la déshydratation. Cette étude nous a montré qu'il ne se formait pas de trimétaphosphate, sauf dans le cas de l'orthophosphate monosodique. Les orthophosphates diacides de lithium, rubidium, césium évoluent par déshydratation comme le phosphate monopotassique.

Nous avons enregistré un premier succès partiel en déshydratant du phosphate monosodique anhydre, à 500° C sous courant d'acide chlorhydrique gazeux et sec. Dans ces conditions, il se forme des quantités importantes de trimétaphosphate de sodium, alors qu'en absence d'acide chlorhydrique il ne s'en forme que des traces infimes, comme l'ont prouvé les essais témoins. Nous devons signaler que le résidu contenait toujours un peu d'ions chlorure. Nous pensons que la formation de trimétaphosphate dans ces conditions provient de l'action hydrolysante de l'acide chlorhydrique qui empêche la formation de sel de Maddrell. Mais le trimétaphosphate n'apparaît que dans le cas du sel de sodium et l'action de l'acide chlorhydrique est nulle dans le cas des autres phosphates monométalliques alcalins.

L'action du nitrate d'ammonium au cours de la déshydratation a été plus intéressante. Nous réalisons un mélange de nitrate d'ammonium et d'*orthophosphate monoalcalin*, et nous augmentons progressivement la température jusqu'à 300° C à la vitesse de 60°/h. Le phosphate monosodique est transformé en totalité en trimétaphosphate. Deux cristallisations suffisent à le purifier. L'orthophosphate monopotassique conduit à du trimétaphosphate de potassium (environ 50 % du phosphore mis en œuvre) mélangé à des polyphosphates linéaires insolubles. C'est la première fois, à notre connaissance, que le trimétaphosphate de potassium est obtenu directement par déshydratation du phosphate monopotassique. Cette méthode ne permet pas d'obtenir de phosphates cycliques pour les sels de lithium, rubidium, césium. D'autre part, la température doit être

amenée progressivement à 300° C. Si le mélange NaH_2PO_4-NH_4NO_3 est porté directement à 300°, le nitrate d'ammonium se décompose et son action est très limitée.

Dans une dernière série d'essais, nous avons effectué la déshydratation dans des nitrates alcalins fondus. Chaque essai était vérifié par un témoin dans lequel le phosphate monoalcalin seul, subissait un cycle thermique identique à celui subi par le mélange. Aucun témoin ne conduisait au trimétaphosphate. A 340° C dans $NaNO_3$ fondu, on fait tomber du phosphate monosodique en poudre. Quelles que soient les proportions, le phosphate est insoluble dans $NaNO_3$, mais le produit de déshydratation est soluble. On obtient, en fin d'opération, du trimétaphosphate de sodium mélangé à des traces de polyphosphates lourds et solubles dans l'eau.

A 370° C, on ajoute du phosphate monopotassique dans du nitrate de potassium fondu. Jusqu'à une teneur de 20 % le phosphate monopotassique est soluble dans le nitrate. Après déshydratation, on constate la formation de $(K PO_3)_3$, mais les rendements sont moins bons que par déshydratation en présence de nitrate d'ammonium.

Le phosphate monorubidique est ajouté à du nitrate de rubidium fondu à 340° C jusqu'à la teneur de 15 %. Il y a solubilité complète. Le phosphate monorubidique donne presque quantitativement du trimétaphosphate de rubidium sans polyphosphates insolubles.

Le phosphate monocésique est dissous dans du nitrate de césium fondu à 430°; la solubilité est complète. On obtient du trimétaphosphate de césium mélangé à de très faibles quantités de polyphosphates insolubles.

La déshydratation de LiH_2PO_4 ne conduit pas au trimétaphosphate correspondant quelles que soient les conditions de l'expérience (HCl gazeux, présence de NH_4NO_3 en solution dans $LiClO_4$ fondu).

Nous pensons que la déshydratation des phosphates monoalcalins conduit aux trimétaphosphates correspondants si l'on évite les condensations. Elles peuvent être empêchées, soit par une action chimique (HCl, NH_4NO_3), soit en éloignant les groupes phosphates par mise en solution dans un solvant approprié tel qu'un nitrate alcalin fondant à basse température.

Jusqu'à présent, le phosphate de lithium ne conduit jamais à un trimétaphosphate, mais toujours à des polyphosphates linéaires.

Les produits formés au cours de la déshydratation ont été identifiés par chromatographie mono et bidimensionnelle suivant la technique de M. Ebel [6].

(*) Séance du 20 avril 1960.

([1]) A. Boulle et M. Domine-Berges, *Colloquium Münster*, 2-6 septembre 1954, *Verlag Chemie*, p. 253.

([2]) E. Thilo et H. Grunze, *Z. anorg. allgem. Chem.*, 281, 1955, p. 262.

([3]) E. Thilo, *Colloquium Münster*, 2-6 septembre 1954, *Verlag Chemie*, p. 242.

([4]) Knorre, *Z. anorg. allgem. Chem.*, 24, 1900, p. 369.

([5]) Jones, *Ind. Eng. Chem. Ed. Anal.*, 14, 1942, p. 536.

([6]) J. P. Ebel et Y. Volmar, *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 415.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la préparation des α-aminoaldéhydes.* Note (*) de MM. **Albert Kirrmann** et **Pierre Duhamel**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les alcools dichlorés C_2H_5—CHOH—$CHCl_2$ et $(CH_3)_2C(OH)CHCl_2$ agissent facilement sur les amines secondaires pour former des α-aminoaldéhydes. On peut supposer un produit primaire de type aminoépoxyde qui se transpose en aldéhyde.

Les α-aminoaldéhydes aliphatiques se forment facilement par action des amines secondaires sur les aldéhydes α-halogénés. On avait indiqué [1], [2] un mécanisme de réaction qui supposait l'addition primaire de l'amine sur le carbonyle, puis la formation d'un aminoépoxyde, qui s'isomérisait en aminoaldéhyde :

$$R-CHCl-CH(OH)-NR_2 \rightarrow R-\underbrace{CH-CH}_{-O-}-NR_2 \rightarrow R-CH(NR_2)-CHO.$$

Les essais pour mettre ces aminoépoxydes en évidence n'ont pas abouti. Un composé de ce type se rencontre cependant dans la bibliographie [3]. Il nous a paru utile de répéter cette préparation, et de contrôler les propriétés du produit. Voici le schéma :

$$(CH_3)_2C(OH)-CHCl_2 + 3R_2NH \rightarrow (CH_3)_2\underbrace{C-CH}_{-O-}-NR_2 + 2R_2NH, ClH.$$

Nous avons effectué la réaction dans les mêmes conditions que l'auteur, mais en utilisant la pipéridine à la place de la diméthylamine. Nous avons isolé un produit correspondant à la formule $C_9H_{17}ON$. En fait ce produit n'avait pas les propriétés d'un aminoépoxyde, mais il s'est révélé strictement identique à l'aminoaldéhyde isomère déjà connu [2].

L'identification a été faite par ses constantes physiques, et en particulier par le spectre infrarouge (tableau I). Elle a été complétée par la réduction en aminoalcool [1]. Nous avons réduit les deux produits, l'aminoaldéhyde obtenu antérieurement et le nouveau produit, par l'aluminohydrure de lithium et nous avons isolé le même aminoalcool cristallisé (F 52°), alors que l'aminoépoxyde pouvait conduire, suivant le sens de la rupture de l'époxyde, soit à un aminoalcool isomère (*a*), soit après désamination du Gem-aminoalcool (*b*), à l'aldéhyde saturé, réduit en alcool par l'excès d'hydrure.

$$(CH_3)_2\underbrace{C-CH}_{-O-}-N(CH_2)_5 + 2H \begin{cases} \xrightarrow{(a)} (CH_3)_2C(OH)-CH_2-N(CH_2)_5 \\ \xrightarrow{(b)} (CH_3)_2CH-CH(OH)N(CH_2)_5 \end{cases}$$

Enfin, l'hydroxylamine permet d'obtenir la même oxime (F 138°).

Il n'est pas nécessaire de douter que la réaction primaire se fait bien suivant le schéma d'Avy, donnant un aminoépoxyde. Mais celui-ci n'est pas isolable et subit immédiatement l'isomérisation en aldéhyde. Ainsi, le mécanisme proposé ([1]), ([2]) se trouve confirmé.

Il restait à vérifier que cette réaction n'était pas propre aux alcools tertiaires, mais qu'elle pouvait s'appliquer aux chaînes normales, avec une fonction alcool secondaire, de type R—CHOH—$CHCl_2$. Ces dérivés ont été rendus accessibles par Tatibouet ([5]). Ainsi avec R=C_2H_5, on pouvait obtenir par la pipéridine, l'α pipéridinobutanal déjà connu ([2]), et que nous avons préparé à la fois par le chlorobutyraldéhyde (A) et par le dichloro-1.1 butanol-2 (B). On remarque que si, pour l'alcool tertiaire, le rendement en chlorhydrate de pipéridine précipité était théorique après 2 h de reflux, dans le cas de l'alcool secondaire, il n'atteint que 38 % au bout du même temps. Il est nécessaire de poursuivre le reflux 2 h de plus pour porter ce rendement à 80 %.

Effectivement, nous avons pu constater l'identité totale des deux produits, d'après leurs constantes (tableau II) et leurs propriétés caractéristiques, telles que les spectres infrarouges, qui sont superposables, la facilité d'oxydation par l'acétate de cuivre à froid et l'obtention de la même dioxime par action du chlorhydrate d'hydroxylamine ([6]).

Tableau I.

	α-pipéridino-isobutyraldéhyde	Composé d'Avy.
É	77-78°/13	81°/13
d	$0,9391^{20}$	$0,9406_4^{21}$
n	$1,4622^{20}$	$1,4620^{21}$
Oxime	F 138°	F 138°
Aminoalcool de réduction	F 52°	F 52°
Bande infrarouge du C=O	1 725	1 725

Tableau II.

	A.	B.
É	89-90°/14	86-90°/12
d	$0,9326^{18}$	$0,9331_4^{21}$
n	$1,4580^{18}$	$1,4590^{21}$
Dioxime	F 130°	F 130°
Picrate	F 128°	F 128°

Ainsi se trouve confirmée l'hypothèse d'un époxyde intermédiaire. En même temps, la réaction fournit une nouvelle méthode commode de préparation des α-aminoaldéhydes.

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) A. Kirrmann et J. J. Riehl, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 808.
([2]) A. Kirrmann, R. Muths et J. J. Riehl, *Bull. Soc. Chim.*, 1958, p. 1469.
([3]) A. Avy, *Bull. Soc. Chim.*, 1931, p. 514.
([4]) R. Muths, *Bull. Soc. Chim.*, 1955, p. 1098.
([5]) F. Tatibouet, *Thèses Sciences physiques*, Paris, 1959.
([6]) A. Kirrmann et P. Duhamel, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 424,

(*Laboratoire de Chimie de l'École Normale Supérieure.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Action déshydratante de l'acide molybdique en phase liquide sur les diols.* Note (*) de M. **Pierre Mastagli** et Mlle **Chantal de Fournas**, présentée par M. Marcel Delépine.

Poursuivant nos travaux sur l'action déshydratante de l'acide molybdique, il nous a paru intéressant de l'appliquer aux diols en employant la même technique que sur les alcools.

Alors qu'il nous était possible avec ce réactif de caractériser un alcool primaire, secondaire et tertiaire, il n'en est plus de même pour les diols et nous nous sommes heurtés à des difficultés assez inattendues. Dans de nombreux cas, on aboutit par une série de réactions en chaîne à des produits de condensation tels que les dioxolanes. Souvent les rendements sont très faibles et il est préférable au cours du chauffage de rajouter du catalyseur et d'augmenter la surface de contact de ce catalyseur en présence du diol au moyen d'une agitation vigoureuse.

1. Prenons, par exemple, le cas de l'éthylène glycol. Il nous a fourni le méthyl-2 dioxolane. On peut expliquer cette formation en admettant qu'une première déshydratation donne de l'acétaldéhyde et que celui-ci, à mesure qu'il est engendré, réagit sur le glycol restant pour nous donner le dioxolane correspondant selon l'équation suivante :

$$CH_2OH-CH_2OH \rightarrow CH_3-CHO \xrightarrow{+CH_2OH-CH_2OH} CH_3-CH\begin{matrix} O-CH_2 \\ O-CH_2 \end{matrix}$$

Mais les rendements dans ce cas précis sont de l'ordre de 10 %.

2. Sur le propylène glycol-1.2 la réaction précédente se répète, mais avec des rendements supérieurs et l'on aboutit dans ce cas à l'éthyl-2. méthyl-4 dioxolane avec passage intermédiaire du propanal de la façon suivante :

$$CH_2OH-CHOH-CH_3 \rightarrow CH_3-\underset{O}{CH-CH_2}+HOH \rightarrow CH_3-CH_2-CHO$$

et

$$CH_3-CH_2-CHO+CH_2OH-CHOH-CH_3 \rightarrow CH_3-CH_2-CH\left\langle\begin{matrix} O-CH_2 \\ | \\ O-CH \\ | \\ CH_3 \end{matrix}\right.$$

(Constantes obtenues : É 113-118°; n_D^{20} 1,402.)

3. Le propane diol-1.3 totalement primaire, dont les fonctions alcools sont séparées par un atome de carbone, ne nous a donné, comme il fallait s'y attendre, que des traces d'alcool allylique.

4. Le méthyl-2. pentane diol-2.4 nous a posé un problème plus délicat. Il nous a fourni des traces d'acétaldéhyde (1), de l'isobutylène (15 %),

du méthyl-2 pentadiène-1.3 (20 %) et du méthyl-2 pentène-1 ol-4 (55 %). La formation d'acétaldéhyde et d'isobutylène s'explique aisément si l'on considère qu'il peut y avoir coupure après l'atome de carbone portant la fonction alcool secondaire et déshydratation entre les deux fonctions alcools de la façon suivante :

$$CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}-CH_3 \rightarrow CH_3-CHO + CH_2=\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}-CH_3 + HOH.$$

La formation de méthyl-2 pentène-1 ol-4 s'explique par la création d'une liaison éthylénique en β, la première déshydratation se faisant sur la fonction alcool tertiaire selon l'équation suivante :

$$CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}-CH_3 \rightarrow CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=CH_2 + HOH.$$

(Constantes obtenues : É 128-130°; n_D^{18} 1,4330.)

D'autre part, par analogie avec ce qui se passe dans le cas de l'acide ricinoléique où l'on obtient l'heptanal et l'acide undécylénique, ici l'on aboutit à l'éthanal et à l'isobutylène. La réaction, cependant, peut suivre une autre voie. La déshydratation peut se faire également sur les deux fonctions alcools et conduire à l'obtention du méthyl-2 pentadiène-1.3 selon l'équation suivante :

$$CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}-CH_3 \rightarrow CH_3-CH=CH-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=CH_2 + 2HOH.$$

(Constantes obtenues : É 62-68°; n_D^{17} 1,4420.)

L'isobutylène, gaz inflammable, a été mis en évidence en le faisant barbotter alors qu'il se dégageait au cours de la réaction dans une solution de brome chloroformé. Après absorption du gaz, la solution a été décolorée par l'hyposulfite de soude. La distillation du dibromoisobutylène ainsi obtenue nous a donné les constantes suivantes : É 150°; n_D^{18} 1,5080.

L'acétaldéhyde a été identifié en précipitant l'eau de décantation dans une solution de 2.4-dinitrophénylhydrazine et en prenant le point de fusion de ce précipité après recristallisation dans l'alcool.

5. Le méthyl-2 propyl-2 propane diol-1.3 où l'absence d'hydrogène sur le carbone central ne peut conduire à une déshydratation ordinaire, nous a fourni toute une série de produits de séparation difficile par distillation.

Nous avons cependant mis en évidence la formation :

1° d'alcool méthylique;

2° de méthyl-2 pentanal;

3° de méthyl-2 pentanol;

4° de dioxyde de di-(méthyl-propyl) isopropylidène;

5° de (méthyl-1 butyl)-2 méthyl-5 propyl-5 dioxane-1.3.

On peut expliquer la formation de ces différents dérivés par un retour aux éléments générateurs, de la façon suivante :

L'aldéhyde s'obtiendrait ainsi :

$$\begin{matrix} CH_3 \\ C_3H_7 \end{matrix} > C < \begin{matrix} CH_2OH \\ CH_2OH \end{matrix} \rightarrow C_3H_7-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CHO + CH_3OH \quad (1^o, 2^o).$$

L'alcool se formerait ainsi :

$$\begin{matrix} CH_3 \\ C_3H_7 \end{matrix} > C < \begin{matrix} CH_2OH \\ CH_2OH \end{matrix} \rightarrow C_3H_7-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2OH + HCHO \quad (3^o).$$

Le dioxyde s'obtiendrait par déshydratation de deux molécules de diol :

$$2\ \begin{matrix} CH_3 \\ C_3H_7 \end{matrix} > C < \begin{matrix} CH_2OH \\ CH_2OH \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} CH_3 \\ C_3H_7 \end{matrix} > C < \begin{matrix} CH_2-O-CH_2 \\ CH_2-O-CH_2 \end{matrix} > C < \begin{matrix} CH_3 \\ C_3H_7 \end{matrix} + 2HOH \quad (4^o)$$

et le dioxane par action de l'aldéhyde sur le diol :

$$\begin{matrix} CH_3 \\ C_3H_7 \end{matrix} > C < \begin{matrix} CH_2OH \\ CH_2OH \end{matrix} + OHC-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-C_3H_7 \rightarrow \begin{matrix} CH_3 \\ C_3H_7 \end{matrix} > C < \begin{matrix} CH_2-O \\ CH_2-O \end{matrix} > CH-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{\displaystyle C_3H_7}{CH}}} + HOH \quad (5^o).$$

En conclusion, on voit que l'action de l'anhydride molybdique sur les diols est assez inattendue. On n'aboutit pas à une simple déshydratation mais plutôt à une série de déshydratations qui se termine par l'obtention de dioxolanes chaque fois que la molécule s'y prête. Nous verrons plus tard que l'anhydride molybdique est un catalyseur de choix pour la préparation de ces mêmes dioxolanes.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) SCHMERLING, FRIEDMAN et IPATIEFF, *J. Amer. Chem. Soc.*, 62, 1940, p. 2448.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Recherches sur le benzofuranne. Application de la dégradation alcaline des éthyl-2 acyl-3 benzofurannes à la préparation de nouveaux composés benzofuranniques substitués en position 2* [1]. Note [*] de

MM. **Émile Bisagni** et **René Royer**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

On indique une méthode de préparation de nouveaux composés benzofuranniques substitués en position 2 par les groupements ω-propanoïque, ω-phénylpropylique, diméthoxy-2.5 phénylique et thiénylique.

En milieu alcalin, les éthyl-2 acyl-3 benzofurannes (du type A) sont ouverts au niveau de la liaison 1.2, puis dégradés en acides formés aux dépens des substituants primitivement fixés sur le noyau hétérocyclique et en (hydroxy-2′ benzyl) alcoyl ou arylcétones (des types B et B′) cyclisables, par acidification, en alcoyl ou aryl-2 benzofurannes (du type C), notamment en éthyl-2 benzofuranne (C′). Nous avions ainsi obtenu [2] les phényl-2, (méthoxy-4′ phényl)-2, (méthyl-2′ méthoxy-4′ isopropyl-5′ phényl)-2 et heptyl-2 benzofurannes à partir des benzoyl-3, (méthoxy-4′ benzoyl)-3, (méthyl-2′ méthoxy-4′ isopropyl-5′ benzoyl)-3 et octanoyl-3 éthyl-2 benzofurannes.

Nous appliquons ici cette méthode à la synthèse de nouveaux composés benzofuranniques portant, en position 2, des substituants qu'il serait, sinon impossible, du moins très laborieux d'introduire selon d'autres techniques.

CO—R (ou Ar) ; C_2H_5 ; O (A) —NaOH→ [—CH(CO—R (ou Ar))(CO—C_2H_5) ; ONa] — NaOH — HCl — H_2O à 15°

CH_2—CO—R (ou Ar) ; OH (B) + C_2H_5—CO_2H ; CH_2—CO—C_2H_5 ; OH (B′) + R ou Ar—COOH

(HCl + C_2H_5—OH à 70°)

O ; R (ou Ar) (C) ; O ; C_2H_5 (C′)

Les transformations effectuées sont les suivantes :

Acide β(éthyl-2 benzofuroyl-3)propionique [I : formule A avec $R = (CH_2)_2COOH$] en acide β (benzofuryl-2) propionique [II : C avec $R = (CH_2)_2COOH$]; phényl-1 (éthyl-2′ benzofuroyl-3′)-3 propane [III :

A avec $Ar = (CH_2)_3C_6H_5$] en phényl-1 (benzofuryl-2′)-3 propane [IV : C avec $Ar = (CH_2)_3C_6H_5$]; éthyl-2 (diméthoxy-2′.5′ benzoyl)-3 benzofuranne [V : A avec $Ar = C_6H_3(OCH_3)_2$ (2.5)] en (diméthoxy-2′.5′ phényl)-2 benzofuranne [VI : C avec $Ar = C_6H_3(OCH_3)_2$ (2.5)]; éthyl-2 (thénoyl-2′)-3 benzofuranne [VII : A avec $Ar = C_4H_3S$ (2)] en (thiényl-2′)-2 benzofuranne [VIII : C avec $Ar = C_4H_3S$ (2)].

Le tableau ci-dessous indique les rendements des différents composés formés après dégradation sodique et acidification. Nous n'avons pas cherché à extraire l'acide propionique, mais nous avons pu séparer les acides phénylbutyrique (IX), diméthoxy-2.5 benzoïque (X) et thénoïque (XI) formés respectivement à partir de (III), (V) et (VII).

Au cours de la dégradation de (VII), nous avons pu isoler l'(hydroxy-2 benzyl) (thiényl-2′) cétone [XII : B avec $Ar = C_4H_3S$ (2)] intermédiairement formée.

Dans les mêmes conditions, la décomposition sodique de l'éthyl-2 (furoyl-2′)-3 benzofuranne [XIII : A avec $Ar = C_4H_3O$ (2)] n'a pas donné de produit défini.

A.	(C) %.		(Ar—COOH)		(C′) %
(I)	(II)	26	–	–	7
(III)	(IV)	47,5	(IX)	34,5	11,5
(V)	(VI)	11	(X)	47,5	34
(VII)	(VIII)	55	(XI)	11,5	13,5

Partie expérimentale. — (I) ($C_{14}H_{14}O_4$) a été préparé en abandonnant pendant 18 h à 15°, 0,33 mol de C′, 0,5 mol d'anhydride succinique et 0,66 mol de Cl_3Al dans 350 ml de $C_6H_5NO_2$. Après décomposition par l'eau et entraînement du $C_6H_5NO_2$ à la vapeur, on extrait (I) au CO_3Na_2. Rdt 65 % par rapport à C′. Microcristaux incolores (de la ligroïne ou de l'éthanol), F 95°. Calculé %, C 68,29; H 5,69; trouvé %, C 68,50; H 5,88.

Les cétones (III), (V), (VII) et (XIII) ont été obtenues en condensant respectivement les chlorures d'ω-phénylbutyryle, de diméthoxy-2.5 benzoyle, d'α-théonyle et d'α-furoyle sur C′ en milieu benzénique et en présence de Cl_4Sn, selon la technique que nous avons antérieurement décrite (3; 2). (III) : $C_{20}H_{20}O_2$: $É_{12}$ 236-237°; aiguilles incolores (de l'éther de pétrole), F 43-45°, Rdt 62 %. Calculé %, C 82,19; H 6,84; trouvé %, C 82,24; H 6,63. (V) : $C_{19}H_{18}O_4$: $É_{11}$ 242-243°; liq. jaune, n_D 1,6041, Rdt 85 %. Calculé %, C 73,54; H 5,80; trouvé %, C 73,88; H 5,99. (VII) : $C_{15}H_{12}O_2S$: $É_{14}$ 224-226°, liq. ambré, n_D^{19} 1,6408, Rdt 66 %. Calculé %, C 70,31; H 4,68; S 12,50; trouvé %, C 70,81; H 5,01; S 12,30. (XIII) : $C_{15}H_{12}O_3$: $É_{15}$ 218-220°, liq. jaune, n_D^{21} 1,6217, Rdt 40 %. Calculé %, C 75,00; H 5,00; trouvé %, C 74,64; H 5,36.

Les dégradations sodiques des cétones précédentes ont été réalisées selon la technique que nous avons mise au point antérieurement [2]. (II) : $C_{11}H_{10}O_3$: aiguilles incolores (de l'éthanol dilué), F 118-119°.

Calculé %, C 69,47; H 5,26; trouvé %, C 69,16; H 4,99. *Éther éthylique de* (II) : $C_{13}H_{14}O_3$: $É_{12}$ 230-231°, aiguilles incolores (de l'éther de pétrole), F 53-55°. Calculé %, C 71,55; H 6,42; trouvé %, C 70,80; H 6,54. (IV) : $C_{17}H_{16}O$: $É_{11}$ 200-202°, liq. jaune, n_D^{17} 1,5900. Calculé %, C 86,45; H 6,77; trouvé %, C 86,40; H 7,06. (VI) : $C_{16}H_{14}O_3$: $É_{12}$ 228-230°, aiguilles incolores, fluorescentes (de l'éthanol), F 67°. Calculé %, C 75,59; H 5,51; trouvé %, C 75,70; H 5,81. (VIII) : $C_{12}H_8OS$: aiguilles incolores (de l'éthanol), F 96-97°. Calculé %, C 72,00; H 4,00; S 16,00; trouvé %, C 71,97; H 4,19; S 15,95. (XII) : $C_{12}H_{10}O_2S$: aiguilles jaunes, F 93-94°. Calculé %, C 66,05; H 4,59; S 14,67; trouvé %, C 65,94; H 4,65; S 14,55.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) Recherches sur le benzofuranne, III. R. Royer, P. Demerseman et E. Bisagni, *Bull. Soc. Chim.* (sous presse).

(2) R. Royer et E. Bisagni, *Bull. Soc. chim.*, 1960, p. 395.

(3) E. Bisagni, N. P. Buu-Hoï et R. Royer, *J. Chem. Soc.*, 1955, p. 3688 et 3693; N. P. Buu-Hoï, E. Bisagni, R. Royer et C. Routier, *J. Chem. Soc.*, 1956, p. 625; E. Bisagni, *Thèse*, Université de Paris.

(Laboratoire de Chimie organique de l'Institut du Radium, Fondation Curie, 26, rue d'Ulm, Paris, 5e.)

PÉTROGRAPHIE. — *Sur l'existence d'une phase hydrothermale terminale dans le métamorphisme de contact de la Serra de Sintra (Portugal).* Note (*) de M. **Carlos Alberto de Matos Alves**, présentée par M. Paul Fallot.

La Serra de Sintra, massif cristallin de forme à peu près elliptique de 5,10 km, se trouve à 20 km environ à l'Ouest de Lisbonne. Cette formation éruptive est constituée par des granites, microgranites, syénites, microsyénites, gabbros, mafraïtes, diorites et brèches hybrides [1]. Les roches les plus importantes, par leur étendue, sont représentées par le noyau syénitique, qui, entouré à l'Est par le granite, descend jusqu'à la mer. Cette formation d'âge crétacé [2], entourée par des formations sédimentaires diverses, recoupe des calcaires lusitaniens, à l'Est, formant au contact une importante auréole de métamorphisme.

Des filons de granite provenant du massif, traversent les calcaires du Malm.

Au Nord, des conglomérats, attribués à l'Oligocène, s'appuyent contre la formation éruptive.

Les skarns et les cornéennes produits par le métamorphisme de contact

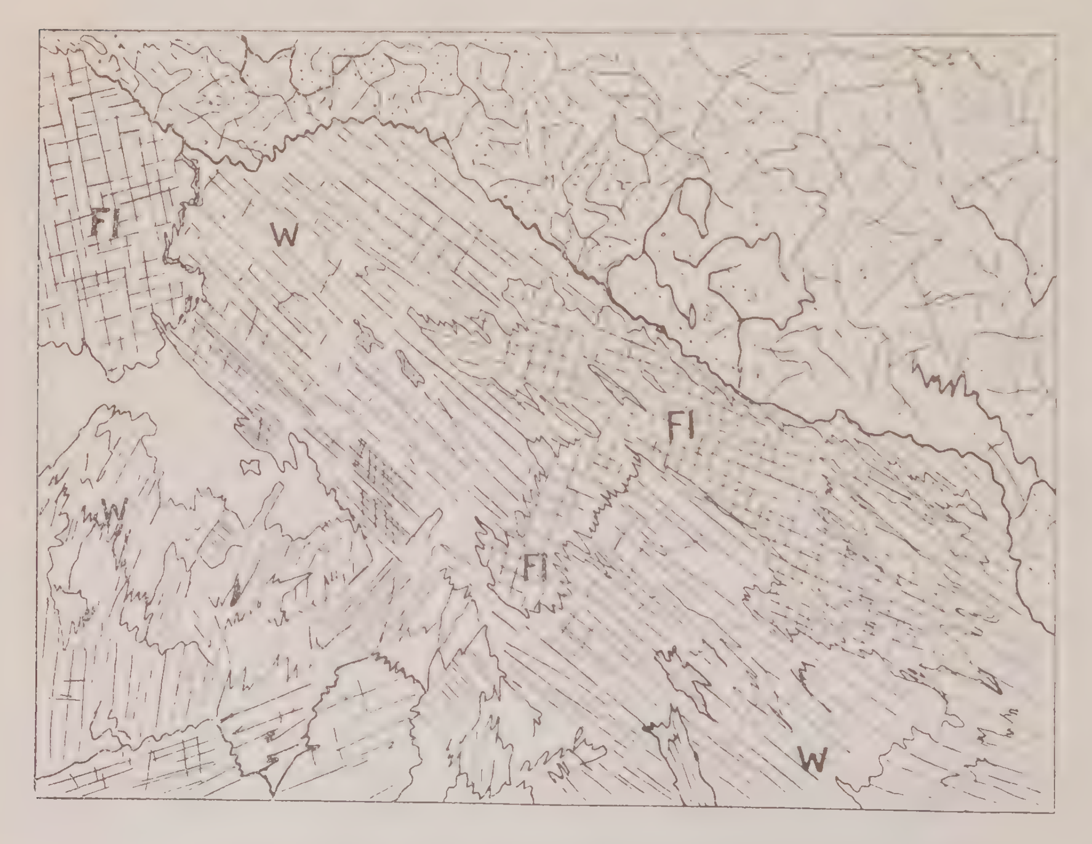


Fig. 1. — Fluorine s'insinuant dans wollastonite. W, wollastonite; Fl, fluorine.

sont constitués, essentiellement, par du grossulaire, la wollastonite, le diopside et l'idocrase. Dans quelques échantillons on a trouvé, en outre, la prehnite.

Dans le granite lui-même des effets d'endomorphisme calcaire se manifestent par l'apparition, au contact : 1° de diopside; 2° de wollastonite; 3° de calcite en voie de transformation en une amphibole verte fibreuse.

C'est un fait particulier concernant la wollastonite d'endomorphisme et le quartz propre du granite, dont il sera question dans cette Note.

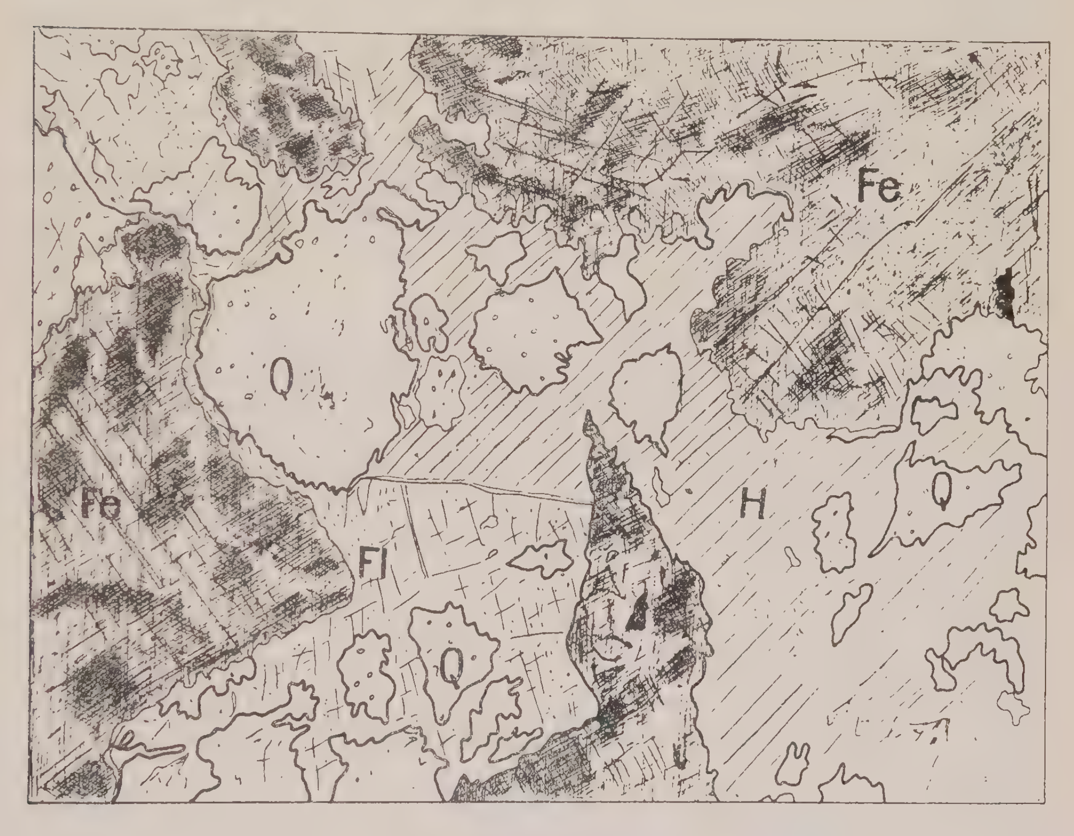


Fig. 2. — Quartz éclaté entouré par de la fluorine (*en bas* et *légèrement à gauche*) et de la heulandite. Q, quartz; Fl, fluorine; Fe, feldspath; H, heulandite.

a. Remplacement partiel de la wollastonite par la fluorine. — Celle-ci s'insinue à travers les clivages les plus faciles de la wollastonite, la corrode et progressivement en occupe la place.

A part cela, on voit aussi, et un peu partout, de beaux cristaux de cette même fluorine.

b. On observe par ailleurs des veinules de fluorine et de heulandite, en forme de digitations fines, entourant et cimentant des éclats anguleux de quartz, ces derniers provenant d'un seul cristal.

L'aspect en est franchement micropegmatitique, l'étude seule des

extensions des éclats de quartz, accuse l'appartenance de ceux-ci à un seul grain. Les fragments ayant, au plus, pivoté de quelques degrés.

Les grains originaux se reconstituent facilement comme un puzzle.

Ce rôle, joué par la fluorine et par la heulandite, est tout à fait particulier.

La fluorine remplace la wollastonite, elle est donc postérieure à la formation du silicate de calcium du contact. Selon Barth, on peut échelonner la température de formation de la wollastonite entre [illegible] et [illegible], suivant la profondeur et la pression sous lesquelles elle s'est formée.

Le caractère postérieur de la venue de fluorine et de heulandite étant d'accord avec les températures attribuées par Fersman à la formation de ces deux minéraux, de 100 à 450°, il semble ainsi qu'il se dégage dans ce secteur, la nécessité d'admettre l'existence d'une phase hydrothermale terminale avec formation de minéraux de basse température, susceptible de constituer la dernière phase du cycle éruptif du massif de Sintra.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) J. Brak-Lamy, *Granitos da Serra de Sintra*, Société Géologique du Portugal, 10, 1952.

(2) Torre de Assunçao et Brak-Lamy, *Géologie et Pétrographie du Massif éruptif de Sintra*, Société Géologique du Portugal, 10, 1952.

GÉOLOGIE. — *Données nouvelles sur la géologie de la région sud-occidentale des Vosges aux environs de Passavant-la-Rochère (Haute-Saône).* Note (*) de Mlle **Marie-José Jacoulet**, MM. **Nicolas Théobald** et **Jean Thiébaut**, présentée par M. Paul Fallot.

A la suite de la découverte d'un nouvel affleurement du socle ancien au Nord de Passavant-la-Rochère (Haute-Saône) [1], des levers géologiques systématiques exécutés au cours des derniers mois sur les feuilles au 20 000e de Monthureux-sur-Saône 3-4 et 7-8 ont permis de mettre en évidence l'existence de trois nouveaux pointements du socle cristallin, du Permien totalement inconnu jusque-là, ainsi que de préciser la stratigraphie du Trias et la structure géologique de la région.

1. Les POINTEMENTS ÉRUPTIFS : *a.* Au lieu dit « la Verrerie-de-Selles » (881,75-340,50), le long de la route et dans les carrières abandonnées, affleurent du *granite* et du *microgranite* dont les relations ne sont pas visibles.

— Le granite (quartz, orthose perthitique, albite, biotite) a subi postérieurement à sa cristallisation une phase cataclastique soulignée par des petites fractures ultérieurement colmatées par du quartz.

— Le microgranite est formé de phénocristaux de quartz, orthose perthitique, plagioclases pseudomorphosés en séricite et goethite et mica blanc au sein d'une pâte caractérisée par une grande abondance de micropegmatites disposés notamment en auréoles autour des phénocristaux de quartz et de feldspath et dans le fond des golfes de corrosion de ces derniers.

b. A « la Croix du Gendarme » (879,05-340,80) coexistent un filon de *pyroméride* à grands sphérolites, un filon de microgranite très voisin de celui qui vient d'être décrit et un granite assez fortement mylonitisé où abondent des plages de micropegmatite graphique.

On peut imaginer deux hypothèses quant à la mise en place de ces roches. Dans la première, le granite est antérieur; le broyage traduit une zone de fragilité du socle qui a permis ultérieurement la mise en place du microgranite et de la pyroméride. Dans la seconde, les trois roches sont contemporaines, mais les déformations ont porté essentiellement sur la roche grenue moins homogène. Les dimensions de l'affleurement réduites à quelques dizaines de mètres ne permettent pas de conclure.

Nous noterons que les roches de cet affleurement ne sont pas sans analogie avec celles décrites dans les Vosges septentrionales [2], [3], [4].

c. Enfin, des *granites* dont la composition est assez voisine de celui de la Verrerie-de-Selles, ont été cartographiés à Droiteval (875,75-344,77), au viaduc de Passavant (876,40-336,53) et au « Bas-des-Cuves », non loin des tufs éruptifs antérieurement décrits [1].

2. Le PERMIEN affleure au fond des vallées du Morillon et de l'Ourche. En bordure de cette dernière, à proximité de la maison forestière de Senennes, une carrière abandonnée permet d'observer, entre le granite et

les grès à cornaline de la base du Trias, un Permien comprenant de bas en haut :

— 0,30 à 0,50 m de poudingues à galets siliceux, ovoïdes, pouvant atteindre des dimensions céphalaires, unis par un ciment siliceux grossier peu cohérent de teinte verte ou rouge, renfermant des fragments d'ossements de Reptiles;
— 1,50 m de grès grossiers avec galets épars et lentilles argileuses verdâtres et rougeâtres;
— 0,20 m d'argile schisteuse;
— 0,50 m de grès grossiers;
— 0,20 m d'argiles schisteuses.

3. Plus haut affleure le Trias. Il débute souvent par du grès à cornaline. Ce dernier manque par endroits, mais peut atteindre une quinzaine de mètres au Bas-des-Cuves. Cette formation a nivelé les reliefs sous-jacents. Au-dessus, les *grès à dragées de quartz* épais de près de 10 m, souvent silicifiés, dégagés par l'érosion en relief rocheux, fournissent un repère précieux pour les levers cartographiques. Ce poudingue peut être considéré comme l'équivalent du poudingue de Sainte-Odile des Vosges septentrionales et centrales.

Il est en effet surmonté par 1° 25 à 30 m de grès fins, micacés, tendres à galets d'argile et nodules d'oxyde de manganèse, équivalent des *grès intermédiaires* et 2° 15 m environ de *grès à Voltzia*, identique à celui des Vosges septentrionales et centrales.

4. Au point de vue de la structure géologique, il doit être précisé que :

1° l'axe de relèvement Sud-Ouest-Nord-Est passant par Passavant correspond à un horst dans la région de Rondey, du mont Paron et du Morillon;

2° la zone déprimée de la Rochère forme un fossé tectonique;

3° la zone se trouvant plus au Nord encore, dessine un anticlinal à socle cristallin, à pendage peu accusé, limité, au Sud seulement, par une faille;

4° dans le réseau de failles verticales, assez compliqué, dominent les directions subméridiennes, puis les directions Sud-Ouest-Nord-Est et enfin Ouest-Est.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) N. Théobald, *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, 1958, p. 207.

(2) J. Jung, *Mém. Serv. Carte géol. Alsace-Lorraine*, n° 2, 1928, 448 pages.

(3) N. Théobald, *Annales Universitatis saraviensis, Scientia*, 2, nos 1-2, 1953, p. 1-38.

(4) J. P. Von Eller, *Bull. Serv. Carte géol. Alsace-Lorraine* (sous presse).

GÉOLOGIE. — *Sur la paléogéographie primaire du versant sud de la Montagne Noire.* Note de M. **François Boyer**, présentée par M. Pierre Pruvost.

L'analyse des faciès paléozoïques et leurs variations, en particulier au Caradoc, montrent des tendances à l'émersion, souvent réalisées sous forme d'îles, au Sud d'une zone de haute mer située sur l'emplacement de l'*axe métamorphique actuel.*

Au Nord de Carcassonne, une bande étroite de terrains primaires très redressés, d'âge cambrien inférieur à viséen, constitue les monts du Minervois, contreforts sud-ouest de la Montagne Noire. Grâce à ses plis est-ouest amples et profonds, cette région est la seule du massif à montrer une série paléozoïque aussi complète; ce qui a permis à M. Thoral et à B. Gèze d'y retrouver, dès 1939 ([1]), la phase orogénique « de Trondjem ». En effet, à la faveur de l'érosion antécaradocienne les ensembles marins cambrien et dévonien se trouvent souvent très rapprochés sur le flanc de certains plis.

Le Caradoc, qui marque le retour de la mer après l'émersion landeilienne, peut être suivi sur plus de 40 km. Des schémas paléogéographiques cohérents se dégagent de l'étude des variations de faciès, mais s'opposent au caractère « émersif » de la zone axiale au primaire, idée généralement admise.

Les mêmes grès arkosiques grossiers, minerais de fer oolithiques et lumachelles à Brachiopodes, discordants sur n'importe quel terme du Cambrien, ceinturent l'anticlinal de Fournes. Sur le flanc sud, des colonies de Tabulés ([2]) et des conglomérats témoignent de la proximité du rivage. Par contre, plus au Nord et au Sud, on passe à des grès fins et à des schistes azoïques; ainsi sur le flanc nord du synclinal des Ilhes, ce Caradoc à faciès fin repose en concordance stratigraphique tranquille sur les « schistes X » de la zone axiale. Il est probable qu'une île encore émergée au début du Caradoc se trouvait à l'emplacement du futur pli hercynien de Fournes, tandis qu'à l'approche de la zone axiale on constatait un éloignement relatif des aires d'alimentation.

Dans le Sud du Minervois, le Caradoc redevient grossier; les Polypiers sont de nouveau présents avec des conglomérats remaniant directement le Tremadoc, érodé sur le flanc sud de l'anticlinal de Montbonous. A l'extrême Sud l'épaisseur de grès grossier augmente; les schistes Caradoc supérieur se réduisent jusqu'à disparition. Des terres émergées se dessinaient donc à la place de l'actuelle plaine de Carcassonne.

A la lumière de la paléogéographie du Caradoc, on peut procéder à l'analyse détaillée de la série stratigraphique antérieure aux mouvements llandeiliens et en préciser les conditions de dépôt. La profondeur n'est jamais grande et la terre se rapproche du Cambrien supérieur au Caradoc.

Dès le Géorgien inférieur des variations dans l'épaisseur et la nature du matériel détritique indiquent une paléomorphologie sous-marine à l'emplacement de futures structures hercyniennes (sillon du synclinal de Lastours, au Sud de l'anticlinal de Fournes). Au sommet, un niveau de microconglomérats feldspathiques marque une pulsation précédant de peu l'apparition des premiers *Archæocyathus*.

Le Géorgien supérieur débute par des alternances carbonatées et détritiques [3]; la sédimentation calcaire s'est établie très tôt dans certaines régions (Fauzan, au Sud-Est du Minervois), alors que dans d'autres le prélude carbonaté est très réduit (sillon de Lastours et abords de la zone axiale). Ensuite se succèdent : calcaires dolomitiques à Archæocyathidés [4], dolomies massives, dolomies syngénétiques, alternances schisto-dolomitiques à silex et Stromatolithes [5], calcaires noduleux à Algues et Hyolithes [6], calcaire marmoréen azoïque. Les influences terrigènes s'éteignent, mais la profondeur reste faible.

L'Acadien débute par des faciès apparentés aux « griottes », manifestant une certaine instabilité des fonds [7], déjà inscrite dans les calcaires « noduleux » de la fin du Géorgien, et se poursuit par des schistes violets ferrugineux. L'ensemble a 40 m à peine, et dans le Nord du Minervois se réduit à quelques mètres de brèche monogénique à pélites violacées. Des dépressions sous-marines en haute mer recevaient les apports réduits et fins d'une terre en début de rhexistasie (H. Erhart, 1956). Sur les schistes acadiens, dans tout le Sud de la Montagne Noire, 60 m de grès quartzites fins marquent le retour définitif des influences terrigènes.

Vers la base du Trémadoc une séquence positive de transgression (grès-schistes-calcaires, 80 m en tout) comporte quelques niveaux de microconglomérats représentant un « écho » [8] de la phase vendéenne dans le Minervois.

L'Ordovicien inférieur est un véritable flysch, témoignant d'une influence terrigène grandissante (herbiers à *Vexillum* de l'Arenig) couronnée par l'émersion générale llandeilienne.

Au total, c'est au Caradoc que la première paléogéographie du Minervois paraît définissable. Les indices d'une fosse à l'emplacement de la zone axiale et la tendance à l'émersion sous forme d'îles au Sud, qu'on relève à cette époque, se marquent encore dans les terrains postérieurs.

Près de Félines (Est du Minervois), le Dévonien inférieur se présente sous deux faciès, l'un dolomitique, concordant sur le Gothlandien et le Caradoc, l'autre détritique, discordant sur l'Arenig, indiquant l'existence d'une île à la fin du Silurien. Dans le synclinal de Cabrespine des calcaschistes verdâtres représentent un équivalent latéral des « griottes » du synclinal de Caunes au Sud du Minervois (Dévonien supérieur). On retrouve le faciès calcaschisteux en bordure de la zone axiale dans le Saint-Ponais et jusque dans les monts de Faugères où il passe au faciès « griotte » vers le Sud [9].

Au cours du Paléozoïque la tendance à l'émersion s'atténue donc lorsqu'on se rapproche de la zone axiale. Il devient dès lors difficile de la considérer comme zone émergée alimentatrice. B. Gèze invoque pourtant cet argument stratigraphique en faveur de sa théorie des nappes [10]. Or l'étude du Minervois montre que cette région est celle des fonds instables ou des terres émergées, connus aussi au Sud, dans le Mouthoumet [11], alors que les faciès de haute mer se trouvaient plus au Nord. Il semble en être de même dans l'Est de la Montagne Noire dont les faciès s'ordonnent mieux selon une vue autochtoniste.

Ordinairement retenue comme preuve d'émersion de la zone axiale à partir de la fin du Silurien, l'absence d'affleurements dévoniens sur le versant nord s'explique aussi bien en considérant la forme des plis. En outre, plus au Nord, dans les Cévennes et la Lozère, la série primaire continue et peu plissée comporte au sommet des faciès gréso-calcaires attribuables au Dévonien [12].

Alors que les structures profondes et continues individualisées par l'orogenèse hercynienne dans la série paléozoïque de la Montagne Noire ont été préfigurées durant tout le primaire, la zone axiale serait une acquisition tardive, grande voussure hercynienne [13] dessinée sur l'emplacement d'une fosse subsidente et métamorphique, et relevée à nouveau lors des plissements pyrénéens.

(1) M. Thoral et B. Gèze, *Comptes rendus*, 209, 1939, p. 891.

(2) Ce sont les Polypiers les plus anciens signalés en France jusqu'à présent (en voie de détermination par J. Lafuste).

(3) M. Thoral, *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, 39, nº 197, 1938, p. 149-151.

(4) Belle faune actuellement en cours d'études par F. Debrenne.

(5) Signalés pour la première fois par M. Thoral (*C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, 6e série, 3, 1953, p. 347-349) et retrouvés en plusieurs points du Minervois.

(6) Équivalents du faciès « entrelacé » de P. Hupé, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3481.

(7) A. Ovtracht et L. Fournié, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 6e série, 6, 1956, p. 71-80.

(8) Selon les idées de P. Pruvost.

(9) B. Gèze, *Mém. Soc. géol. Fr.*, 29, Mémoire nº 62, 1949.

(10) Postulant l'existence d'un relief à l'endroit de la zone axiale, B. Gèze est logiquement conduit à faire venir du Sud par charriage les faciès fins du Nord des monts de Pardailhan.

(11) Études inédites d'A. Ovtracht.

(12) D'après des études inédites de F. Espourteille et M. Rabinovitch.

(13) Conclusion pressentie par M. Thoral : « La zone axiale de la Montagne Noire ou la région située immédiatement au Sud de celle-ci a dû former une cordillère dans la mer silurienne, cordillère orientée comme le sera la future chaîne hercynienne (63e *Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences*, Liège, 1939, p. 557-564).

(*Laboratoire de Géologie appliquée, Faculté des Sciences, Paris*).

GÉOLOGIE. — *Sur l'origine sédimentaire des porphyroïdes de Belle-Ile (Morbihan).* Note (*) de M. **Jean Cogné**, présentée par M. Pierre Pruvost.

Belle-Ile est constituée par une série de schistes sériciteux ou micacés épimétamorphiques (micaschistes supérieurs) rapportés traditionnellement au Briovérien. Parmi ces schistes figurent des faciès feldspathiques interstratifiés, cartographiés par C. Barrois [1] sous le nom de schistes et gneiss granulitiques. Ce sont des schistes glanduleux assez clairs, à trame satinée verdâtre, englobant des grains de quartz et surtout de feldspaths abondants, dont la taille oscille de quelques millimètres à 2 ou 3 cm. De forme généralement globuleuse, ces éléments donnent à la roche une physionomie incontestable de « porphyroïde » au sens où l'entendait J. de Lapparent [2].

Des formations analogues s'observent dans le prolongement structural des séries belle-îloises de part et d'autre de l'estuaire de la Loire. Malgré la distance séparant ces deux régions, l'importance de ces formations, tant à Belle-Ile qu'en Basse-Loire, permet d'y voir un niveau assez constant dans le Briovérien bordant au Sud l'importante unité paléogéographique ancienne qu'est la cordillère ligérienne [3]. Par contre, on n'a pas retrouvé jusqu'à présent de formations analogues dans le Briovérien situé au Nord de cet axe structural primitif de la Bretagne méridionale.

Quelques caractères particuliers des porphyroïdes de Belle-Ile. — L'étude pétrographique montre chez ces porphyroïdes des caractères très voisins de ceux qui sont classiquement pris comme preuve d'une origine rhyolitique ou microgranitique pour ce genre de roche : présence de lacunes interprétées comme figures de corrosion magmatique dans les quartz et feldspaths noyés isolément au sein de la masse schisteuse.

Mais ici de telles lacunes sont toujours postérieures à de puissants phénomènes dynamiques qui ont laminé la trame schisteuse et étiré ou fracturé quartz et feldspaths à l'aurore du métamorphisme. De plus, s'il s'agit de corrosion métamorphique dans le cas des feldspaths (microcline perthitique plus ou moins recristallisé) le cas du quartz est plus complexe. On distingue, en effet, dans ces roches deux types de quartz fréquemment juxtaposés. D'une part du quartz en petits grains anguleux, éclatés avant la formation de la roche, d'autre part des grains plus gros, globuleux, parfois sub-automorphes et présentant d'abondantes lacunes. Les premiers subissent toutes les tensions éprouvées par l'ensemble de la roche depuis son origine : parfois intacts, ils présentent le plus souvent des signes évidents d'étirement et nourrissent finalement les filets siliceux de la trame schisteuse lorsque celle-ci se trouve laminée. Les seconds, par contre, bien que situés dans ce milieu soumis à d'importantes tensions sont remarquablement

frais, présentant une extinction très uniforme, et leur fragile structure lacunaire est parfaitement conservée. Il est évident que s'ils ont été préservés des tensions principales accompagnant le métamorphisme, c'est qu'ils leur sont postérieurs. De fait, l'analyse précise de leurs caractères montre que ce ne sont pas des quartz corrodés rhyolitiques anciens, mais des quartz authigènes récents présentant d'abondantes lacunes d'accroissement, et correspondant à un épisode de silicification lié aux dernières phases du métamorphisme épizonal dans les schistes sériciteux.

Ainsi donc, pas plus pour les quartz que pour les feldspaths, idiomorphisme (rare et toujours imparfait) et figures de corrosion ne sont dans les porphyroïdes de Belle-Ile une preuve d'origine éruptive, comme c'est le cas admis pour la majorité de ces formations.

Le contexte stratigraphique. — 1. *Sous les porphyroïdes* on observe une remarquable série rythmique (Port Salin). Cette série, souvent graphiteuse, est constituée par des couches très fines, millimétriques, alternativement claires (quartzeuses) et sombres (argilo-sériciteuses) se répétant sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Elle offre une identité de composition et de structure étonnante avec la belle série rythmique de Saint-Pair [4] observée par M. J. Graindor [5] sous les tillites de Granville dans le Briovérien normand.

2. *Au niveau des porphyroïdes* de multiples faciès de caractère sédimentaire détritique peuvent être notés. En particulier : un niveau schisteux à galets très laminés de quartzite graphiteux (Nord de la pointe de Kerdonis); des niveaux de schistes graphiteux finement rythmiques passant à des porphyroïdes graphiteuses, montrant la présence de matière organique mêlée originellement à la roche mère des porphyroïdes (ce qui est incompatible avec une origine éruptive directe de celles-ci) (Pointe du Talus); des faciès bréchiques fins formés d'une pâte argilo-sériciteuse semée de petits éclats anguleux de quartz, quartzite, feldspaths (Port York, Port Kerel); dans les porphyroïdes elles-mêmes, présence fréquente de petits galets feldspathiques et très rare de petits galets granitiques et quartzitiques (Port Salin); des faciès gréso-arkosiques fins, à fine stratification entrecroisée (Pointe de Bigneul).

Tous ces faits permettent de voir à l'origine des porphyroïdes de Belle-Ile une série sédimentée dans un contexte détritique.

Le problème reste posé de l'origine du matériel quartzeux et surtout feldspathique qui y figure et de son mode de sédimentation. Il semble qu'une relation doive exister entre ces porphyroïdes et les granites gneissiques grossiers alcalins qui constituent vers le Nord la puissante armature de la cordillère ligérienne [6] : caractéristiques dans les deux formations, les microclines perthitiques y sont de même type. Mais ce lien entre granites et porphyroïdes ne peut être que l'objet d'hypothèses encore discutables. Parmi celles-ci deux retiennent l'attention, qui conduisent à voir à l'origine des porphyroïdes :

soit un matériel pyroclastique *remanié*, lié à un volcanisme alcalin en rapport avec la granitisation développée au cœur de la cordillère ligérienne. Les caractères des porphyroïdes ne contredisent pas directement cette hypothèse, mais ne lui apportent aucun appui. Certains mêmes (taille et nature des feldspaths, fréquence du graphite, cadre lithologique) lui sont défavorables;

– soit un matériel arkosique grossier provenant de la désagrégation des granites alcalins soumis à l'action des agents atmosphériques et de l'érosion. Cela pose le problème de la remarquable conservation des feldspaths, indemnes de toute altération chimique d'origine météorique et de ce fait assez résistants, une fois séparés de leur roche mère, pour supporter un transport pouvant les user en petits galets plus ou moins globuleux. Seule une désagrégation physique des éléments granitiques, à l'exclusion des processus chimiques de l'arénisation (inconnus en climat froid), pourrait expliquer une telle origine. Ce fait important, joint à l'ensemble des caractères de la série belle-îloise, conduit à se demander si un parallélisme ne doit pas être tenté avec les formations glaciaires du Briovérien normand, parallélisme souligné par l'identité absolue des séries rythmiques dans l'un et l'autre cas. Une telle origine climatique a déjà été montrée pour d'autres porphyroïdes (7), mais l'empreinte du métamorphisme empêchera sans doute toujours d'arriver ici à une certitude.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) C. Barrois, *Ann. Soc. Géol. Nord*, 26, 1897, p. 226-239.

(2) J. de Lapparent, *Bull. Soc. Fr. Minéralogie*, 32, 1909, p. 174-304.

(3) P. Pruvost, *Ann. Hébert et Haug*, 7, 1949, p. 345-360.

(4) *C. R. Som. Soc. Géol. de Fr.*, 9, 1959, p. 254.

(5) M. Graindor, *Mém. Carte Géol. Fr.*, 1957.

(6) J. Cogné, *Mém. Carte Géol. Fr.*, 1958 (sous presse).

(7) G. Cecioni, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1958, p. 413-436.

(*Laboratoire de Géologie, Faculté des Sciences, Strasbourg.*)

SÉDIMENTOLOGIE. — *Remarques sur les séquences sédimentaires de l'Aalénien de Lorraine.* Note (*) de MM. **André Bernard** et **Louis Bubenicek**, présentée par M. Pierre Pruvost.

La reconnaissance de la séquence sédimentaire de la minette lorraine permet de définir deux directions de recherches : pratiques (estimation des réserves), théoriques (paléogéographie de l'Aalénien).

Ainsi que le signale A. Lombard (1), les formations ferrifères sédimentaires de Lorraine constituent un exemple particulier, mais typique, de séries rythmiques intervenant dans la phase marno-calcaire de la série virtuelle générale. En effet, les formations ferrifères sont bien interstratifiées à l'échelle du gisement (mégascopique) entre les marnes toarciennes et les calcaires bajociens : à cette échelle, la série apparaît positive et normale.

A plus petite échelle (macroscopique), l'analyse des sédiments s'avère beaucoup plus complexe : le schéma proposé par A. Lombard (1), qui s'appuie sur les descriptions de Bichelonne et Angot (2) pour le bassin de Lorraine, de Lucius (3) pour le bassin luxembourgeois, peut se résumer de la manière suivante. Les lois de sédimentation des dépôts ferrifères et des dépôts stériles sont différentes : il y a une dualité d'origine qui se manifeste sur le plan séquentiel, d'une part par une alternance marno-calcaire, sédimentation normale, stérile, à tendance positive, d'autre part par des apports terrigènes, clastiques et ferrugineux, qui alimentent par à-coups les différents bassins de sédimentation.

L'étude stratonomique préliminaire des massifs ferrifères conduit à une interprétation différente des rythmes sédimentaires de la minette. L'examen pétrographique des différents termes lithologiques (lithotopes) montre sans équivoque que la quasi-totalité des sédiments aaléniens est d'origine détritique. Les calcaires apparaissent tous constitués par l'accumulation de fragments de coquilles : il s'agit de calcarénites. Les oolithes se disposent en fonction de leur granulométrie (4) : par extension de la terminologie de Grabau, il s'agit de ferri-arénites. Enfin, les roches argileuses sont toujours finement litées, et montrent tous les passages graduels au micro-grès quartzeux : dans ces passages, la granulométrie des phyllites s'avère équivalente (du point de vue de la sédimentation) de celle des grains clastiques quartzeux : il s'agit de lutite à structure litée, c'est-à-dire de shales (5).

Comme dans toute série détritique, c'est sur le facteur granulométrique que doit reposer la définition de la série virtuelle locale : nous avons été ainsi conduits à distinguer (*figure*) :

1. Les arénites grossières passant parfois aux rudites : crassins, micro-conglomérats de granules ferrifères, etc.

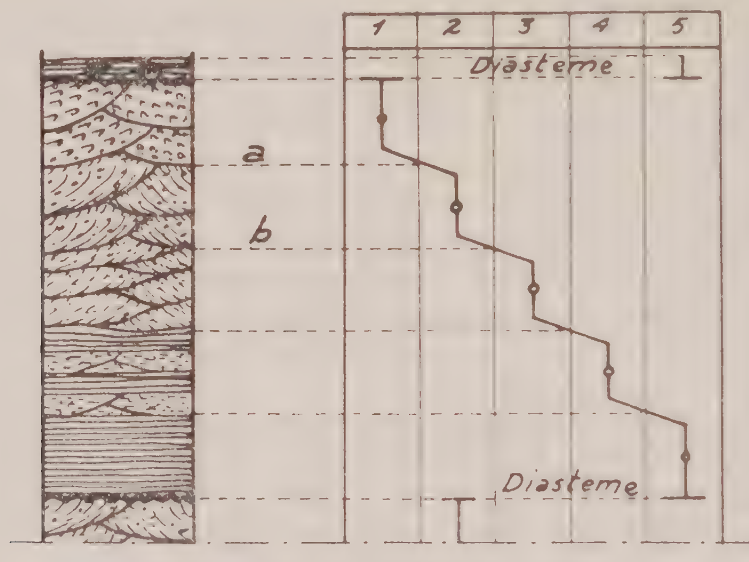
2. Les arénites ferrifères, calcaires, éventuellement quartzeuses.

3. Les arénites fines, essentiellement calcaires, éventuellement quartzeuses.

4. Les micro-grès siliceux ou calcaires.

5. Les shales argileux ou argilo-siliceux.

Il ressort de l'examen de ces divers types pétrographiques, que dans l'ensemble de la formation, les distributions des différents éléments détritiques présentent des coefficients de dispersion propres : ainsi le champ granulométrique des détritiques calcaires est très étendu : 80 μ à quelques



Séquence type de l'Aalénien de Lorraine.

centimètres, tandis que le champ des détritiques quartzeux s'avère beaucoup plus restreint : 30 à 800 μ. Celui des oolithes ferrifères s'étend entre 60 à 500 μ.

Sur ces bases, tant dans le bassin ferrifère lorrain que luxembourgeois, une seule et même séquence lithologique apparaît à l'échelle macroscopique :

Cette séquence où la dimension moyenne des détritiques croît de la base vers le sommet est une séquence négative. Des variations latérales introduisent une certaine diversité dans son aspect lithologique : certains termes peuvent être très réduits ou disparaître : parallèlement, des variations de puissance notables interviennent (de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres). L'Aalénien comporte au total une quinzaine de séquences sur une même verticale : la série sédimentaire apparaît ainsi rythmique et montre une dérive, sensible de la base plus marneuse au sommet plus calcaire, qu'on peut considérer comme négative sur le plan granulométrique et comme positive sur le plan chimique (échelle

mégascopique). Sur ces données, il semble bien que les différenciations sédimentaires mécaniques et chimiques soient relativement indépendantes [6].

Les conclusions pratiques et théoriques qu'on peut tirer de l'établissement de cette séquence sont nombreuses : définition de la couche au sens des mineurs (intervalle *a-b*, *figure*), estimation des réserves en minerais riches (coupure à 30 % Fe) et pauvres (coupure à 20 % Fe), restitution précise de l'environnement sédimentaire. L'étude systématique de ces problèmes repose sur la reconnaissance préliminaire de la séquence type : elle est en cours (Bubenicek).

[1] A. LOMBARD, *Géologie sédimentaire*, 1956, Masson, Paris, 1 volume, 722 pages.

[2] J. BICHELONNE et P. ANGOT, *Le bassin ferrifère lorrain*, 1939, Berger-Levrault, Nancy-Strasbourg.

[3] M. LUCIUS, *Die luxemburger Minette formation und die jüngerm Eisenerzbildungen unsers landes*, 1945, Serv. carte géol. lux., Band, 347 pages.

[4] L. BUBENICEK, *Comptes-rendus*, 249, 1959, p. 1371.

(*) Séance du 9 mai 1960.

[5] A. BERNARD, *Contribution à l'étude de la province métallifère sous-cévenole*, 1958, (*Thèse*, Nancy).

[6] L. V. POUSTOVALOV, *La genèse des roches sédimentaires* (*aperçu sur l'état actuel du problème*), 1952 *XIXe Congr. géol. intern.* Alger, fasc. XIII, p. 171-192.

(*École Nationale Supérieure de Géologie appliquée de Nancy.*)

GÉODYNAMIQUE EXTERNE. — *Réseaux de fentes en coin périglaciaires d'âge würmien visibles sur photographie aérienne dans l'Orléanais.* Note (*) de M. **Pierre Horemans**, présentée par M. Pierre Pruvost.

La surface des alluvions anciennes de la Loire montre des réseaux de fentes en coin quaternaires analogues aux réseaux actuels subpolaires. Leur tracé, de teinte sombre sur photo aérienne, apparaît grâce à l'humidité relative du remplissage des fentes. Ouvertes par le gel, elles semblent avoir été colmatées par un sable éolien, pendant un stade froid et aride de la glaciation würmienne.

Dans les régions arctiques et antarctiques où règnent actuellement des conditions périglaciaires, on a maintes fois décrit des *réseaux de fentes en coin* visibles à la surface du sol [1], [2], [3].

Par ailleurs, à l'occasion de tranchées ouvertes dans des formations quaternaires sableuses ou graveleuses, on a fréquemment observé de telles fentes fossiles; un inventaire pour la France en a notamment été donné par Tricart [4]. Leur configuration en coupe et la nature de leur remplissage ont fait l'objet de plusieurs études [5], [6], [7].

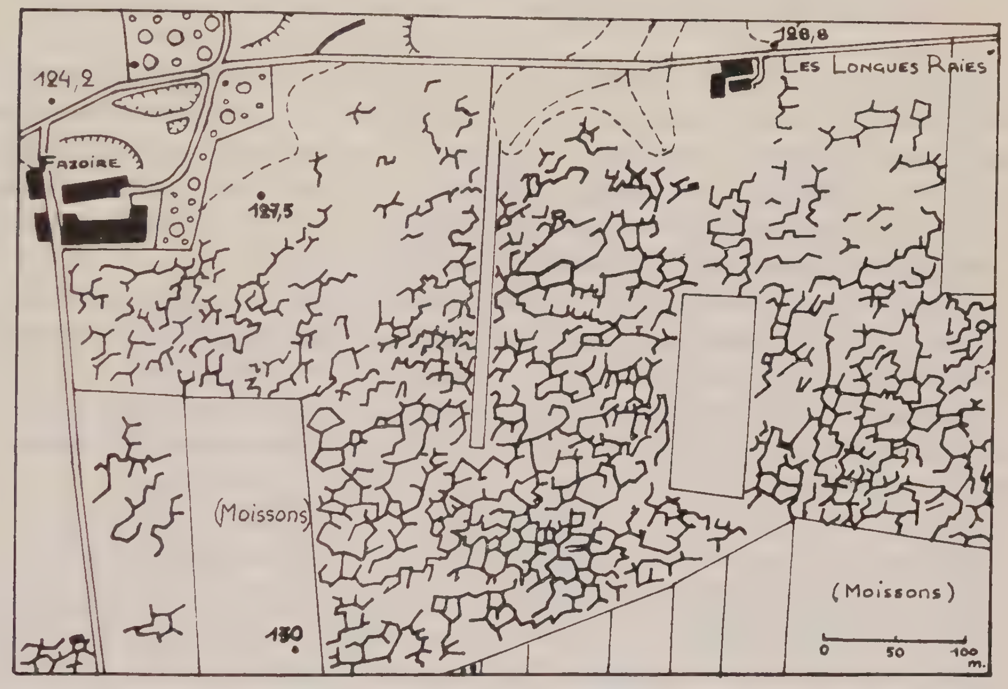
Mais à notre connaissance, on n'a encore jamais signalé en France jusqu'à ce jour l'existence de réseaux de fentes fossiles visibles en plan. En Europe même, le phénomène n'a été décrit qu'une seule fois par Dimbleby dans le Yorkshire [8]; cet auteur a signalé l'existence d'un réseau de fentes quaternaires visible en plan, soit sur la photo aérienne, soit au sol même, grâce à une végétation spéciale qui en souligne les traits.

Or, à l'occasion d'études pédologiques dans la région orléanaise, nous avons pu constater la présence de plusieurs réseaux de fentes en coin, tant sur les terrasses alluviales du *Bas-Niveau* de la Loire, que sur les formations détritiques plus anciennes et principalement les *cailloutis préligériens* [9]. On y remarque des réseaux localisés, mais parfaitement discernables sur photo aérienne (*fig.*) à Sully-sur-Loire, Vienne-en-Val et Saint-Cyr-en-Val.

Ces réseaux existent sur les alluvions du *Bas-Niveau* dans la partie superficielle desquelles se rencontrent des industries moustériennes anciennes, mais sont absents sur les alluvions du *Très-Bas-Niveau* qui contiennent en profondeur des silex moustériens remaniés mais portent des industries magdaléniennes de surface [10]. Il semble donc possible de leur attribuer un âge contemporain de la *Glaciation Würm*.

En plan, les fentes principales au tracé sombre atteignent 1 m de largeur; elles délimitent des polygones irréguliers, larges de 10 à 30 m, de teinte claire, recloisonnés, de façon souvent partielle, par des fentes plus minces. Une même fente rectiligne limite fréquemment plusieurs polygones dont certains angles sont droits.

La *végétation herbacée* ne présente pas de différenciation qualitative le long du réseau, elle est simplement plus vigoureuse; au niveau des fentes, le sol possède des particularités granulométriques spéciales plutôt que chimiques. C'est surtout la *texture* du matériel de remplissage, plus fine que celle du sédiment encaissant, qui détermine une rétention d'eau plus forte au niveau du réseau. Après une période pluvieuse, celui-ci est mis en évidence par l'*humidité* des fentes, alors que le sol très perméable des cellules est déjà ressuyé. En période sèche, le réseau lui-même n'apparaît plus; le moment propice à la photographie doit être limité à une courte période suivant une pluie.



Réseau de fentes en coin würmiennes sur les graviers miocènes, à l'Ouest de Vienne-en-Val (Loiret). Coordonnées Lambert : $x = 311$; $y = 583$ (proj. II, z. centrale). Les fentes sont le mieux révélées sur les prés secs; les moissons en place les voilent complètement.

En coupe, les fentes rappellent le plus souvent le type « Frostspalten » de Poser [10] ou les « fentes à remplissage » de Macar [11], plutôt que les « Lehmkeile » et les fentes « trapues » décrites dans la région bordelaise [5] et le Yorkshire [8].

Elles sont légèrement ondulées et inclinées jusqu'à 20° de la verticale. Leur longueur est généralement supérieure à 2 m et dépasse souvent 3 ou 4 m. L'épaisseur réelle est voisine de 10 cm, sauf dans la partie supérieure qui s'évase de façon à atteindre de 50 à 100 cm à la surface du sol.

Les fentes recoupent un *profil polygène* [12] : le substratum alluvial stratifié (sable à grains anguleux, graviers et galets, lits ferrugineux) est recouvert d'un sable éolien meuble, épais de 40 à 75 cm, comprenant

environ 60 % de grains de quartz ronds-mats. Le remplissage des fentes, postérieur au dépôt de la couche éolisée, possède une texture plus fine et un taux de quartz éolisé plus élevé que cette dernière, soit environ 80 %.

Texture des alluvions et du remplissage d'une fente en coin.

(Sully, La Plaudière.)

	Alluvions.	Fente.
Cailloux et graviers (plus de 2 mm)	24.8	4.2
Sables grossiers (de 0,2 à 2 mm)	81.3	61.7
Sables fins (de 0,02 à 0,2 mm)	8.0	21.5
Poudres (de 0,002 à 0,02 mm)	2.5	10.5
Colloïdes minéraux (moins de 0,002 mm)	7.8	7.9

Les fentes en coin de l'Orléanais pourraient se rapporter au type actuel des « coins de sable » (*sand-wedges*), sans remplissage de neige ou de glace libre, décrits dans l'Antarctique [2]. Ceux-ci fonctionnent comme trappes vis-à-vis du sable balayé par le vent, sous un climat non seulement très froid (température moyenne annuelle de — 17° C), mais encore très aride (précipitations moyennes annuelles de 50 à 100 mm).

Le mécanisme générateur de ces fentes antarctiques, récemment découvertes, avait été pressenti pour expliquer la genèse des fentes quaternaires bordelaises [5].

Les réseaux de l'Orléanais constituent un *indice paléoclimatique* précieux, relatif à un stade particulièrement rigoureux de la glaciation würmienne.

(*) Séance du 9 mai 1960.

[1] E. Leffingwell, *The Canning River region; Northern Alaska, The Geol. Surv. Prof. Paper*, n° 109, 1919.

[2] T. L. Pewe, *Sand-wedges polygons in the Mac-Murdo Sound region, Antarctica, Amer. J. Sc.*, octobre 1959.

[3] S. M. Taber, *Bull. Soc. Geol. America*, 54, 1943, p. 1433-1548.

[4] J. Tricart, *Carte des phénomènes périglaciaires quaternaires en France, Mém. Carte Géol. dét. France*, 1956.

[5] A. Bastin et A. Cailleux, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, n° 13, 1941, p. 281-283.

[6] A. Cailleux, *Bull. Carte Géol. Fr.*, t. 47, n° 225, 1948, p. 1-7.

[7] A. Cailleux et G. Taylor, *Cryopédologie. Étude des sols gelés, Act. Sc. et Ind.* n° 1203, Hermann, Paris, 1954.

[8] G. Dimbleby, *J. Soil Sc.*, 3, 1952, p. 1-19.

[9] G. Denizot, *Carte géologique au* 1/80 000e, Orléans, f. 95, 2e éd., 1936.

[10] H. Poser, *Erdkunde*, 2, Bonn, 1948, p. 53-68.

[11] P. Macar et W. Van Leekwyck, *Ann. Soc. géol. Belg.*, 81, 1958, p. 359-407.

[12] L. Glangeaud, *Classification des sols et hiérarchie des phénomènes en Pédologie, VIe Congrès Intern. Sc. Sol.*, vol. A, Paris, 1956.

PALÉONTOLOGIE. — *Sur la morphologie et l'interprétation phylétique de* Parapithecus fraasi *Schlosser*. Note (*) de M. **Joseph Kälin**, présentée par M. Jean Piveteau.

Dans la discussion sur la phylogenèse des primates fossiles, la mâchoire de *Parapithecus fraasi* (trouvée par Schlosser dans les couches du Fayum de l'Oligocène inférieur de l'Égypte) joue un rôle tout spécial. Pour la plupart des auteurs, Parapithèque est le représentant d'un groupe ancestral soit de tous les Catarrhiniens supérieurs (*Hominoidea* de Simpson), soit des Pongidés (« Anthropomorphes »).

La différence des opinions concernant le document de Parapithèque trouve en partie son explication dans les divergences morphologiques entre les molaires et la partie anté-molaire de la dentition. Cependant les contradictions entre les auteurs sur l'objet de notre étude sont, dans une large mesure, provoquées par le fait que les descriptions de *Parapithecus* qu'on possédait jusqu'à ce jour ne suffisent pas aux exigences d'une morphologie comparée de la dentition. Le directeur M. Schuetz et le conservateur de la Section de Paléontologie du Muséum d'Histoire naturelle de Stuttgart, M. Adam, m'ont permis l'examen à fond de Parapithèque ainsi que des autres primates se trouvant dans leur précieuse collection du Fayum.

Notre étude a permis de constater toute une série de faits d'ordre nouveau et, par conséquent, une meilleure perspective sur les possibilités d'une interprétation phylétique de Parapithèque.

La comparaison avec les groupes des primates connus jusqu'à ce jour nous permet de distinguer chez Parapithèque trois catégories de caractères. Une première catégorie concerne les traits qui, à condition qu'il s'agisse vraiment d'un primate, doivent être regardés comme typophéniques [1]. Ceci vaut surtout pour l'existence d'une symphyse ouverte, la divergence considérable entre la mâchoire droite et gauche, la hauteur modeste du *ramus mandibulæ* et l'inclinaison remarquable de son axe principal ainsi que l'identité de longueur pour la première et la deuxième prémolaire (Pm_3 — Pm_4). De même la petite hauteur du corps de la mandibule, par comparaison avec sa longueur totale, et les dimensions modestes de la mâchoire correspondent parfaitement à ce qu'on attend d'un primate primitif.

A ces caractères primitifs s'ajoutent des traits d'une deuxième catégorie. Ceci vaut surtout pour l'état beaucoup plus évolué dans la structure des molaires. Celles-ci comprennent cinq tubercules (auxquels s'ajoute, sur la troisième molaire, un *tuberculum sextum*). La crête antérieure du trigonide a disparu et, sauf à la troisième molaire, le talonide a gagné la largeur du trigonide. Les tubercules correspondent dans leur disposition générale à celle que nous observons chez *Propliopithecus hæckeli*. Cependant

en considérant les détails du gabarit des molaires il est difficile de croire à l'existence d'une lignée orthogénétique reliant Parapithèque au Propliopithèque.

L'interprétation de *Parapithecus* comme une sorte de type ancestral des Catarrhiniens supérieurs est basée sur des considérations trop superficielles. Ceci résulte de l'étude des caractères de la troisième catégorie. Elle comprend des spécialisations uniques dans la dentition anté-molaire. La série complète des dents comprend huit éléments, dont les trois premiers ont été interprétés d'une façon différente. Schlosser a essayé de déduire la dentition de Parapithèque du type réalisé chez *Tarsius spectrum*. C'est pourquoi Schlosser voit, dans le deuxième élément, la canine et, dans le troisième, la première prémolaire. Selon cet auteur la formule de la dentition serait 1.1.3.3. Mais notre étude de Parapithèque mène à la conclusion qu'aucun caractère ne nous oblige à croire à une connexion plus étroite avec tel ou tel groupe des Prosimiens. Si Schlosser souligne la ressemblance étroite des canines et des incisives chez *Tarsius* et Parapithèque, en réalité nous constatons ici une différence fondamentale : notre étude a confirmé l'interprétation de Werth, de Stehlin et d'autres, selon laquelle la formule de la dentition est la suivante : 2.1.2.3. La radiographie a rendu visible la racine de la troisième dent, qui ne contient qu'un seul canal.

Dans cette troisième catégorie de caractères, les prémolaires sont d'une importance primordiale. Pm_3 et Pm_4 se ressemblent à tel point, qu'on pourrait presque parler d'une identité. Ceci vaut et pour la forme et pour les dimensions absolues de ces dents. Mais elles montrent une morphologie tout à fait spéciale. Du côté disto-lingual d'un tubercule principal très fort et conique se trouve un petit tubercule intercalé dans le bourrelet marginal intérieur. Du côté externe se trouve un tubercule disto-labial sous la forme d'un talonide montant en arrière (« Talonidhöcker »). Cette morphologie spéciale des prémolaires a été négligée par les auteurs jusqu'à ce jour. Toutefois Werth semble avoir constaté certains de ces détails, au moins quant à la Pm_4.

La partie anté-molaire de la dentition ne permettrait même pas de grouper Parapithèque provisoirement parmi les primates. Cependant les ressemblances entre les molaires de *Parapithecus* et celles de *Propliopithecus* semblent indiquer un certain parallélisme évolutif partiel (des « trends » parallèles quant à l'évolution des molaires).

Nous voyons en *Parapithecus* le représentant d'un groupe spécial, caractérisé par une combinaison de traits primitifs des primates, de caractères plus évolués (correspondants à un niveau évolutif des molaires relativement avancé) et de spécialisations tout à fait uniques dans la région anté-molaire.

Notre analyse comparative permet les conclusions suivantes :

1. L'interprétation de Schlosser, selon laquelle la dentition de Parapi-

thèque serait évoluée à partir d'un type initial réalisé aujourd'hui chez les *Tarsiidæ* (*Tarsius*), n'est pas soutenable.

2. La spécialisation des dents anté-molaires, et surtout celle des deux prémolaires (Pm_3 et Pm_4), manifeste une spécialisation qui ne permet pas de considérer *Parapithecus* comme une forme ancestrale de *Propliopithecus*.

3. Les molaires de Parapithèque présentent une morphologie relativement évoluée, ayant probablement franchi le niveau structural des molaires des Catarrhiniens les plus primitifs. Il s'agit d'un parallélisme évolutif partiel, qui n'empêche pas que d'autres caractères manifestent une divergence radicale dans la phylogenèse de Parapithèque d'une part, et celle des *Pongoidea*, d'autre part.

4. La forme de la mandibule présente des caractères très primitifs réalisés dans une large mesure chez les Prosimiens. Cependant aucun de ces caractères ne possède une valeur phylétique, qui permettrait de conclure à des relations génétiques spéciales avec un groupe déterminé de primates inférieurs.

5. Si l'on se rend compte du parallélisme dans les molaires de Parapithèque et de Propliopithèque, l'hypothèse nous semble justifier que Parapithèque représente une famille de primates, évoluée du même « champ transitoire » ([2]) des processus évolutifs, par lequel les Pongidés, les Hominidés et les Cercopithécidés ont franchi le niveau structural des Prosimiens.

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) Par cette expression je désigne les caractères de n'importe quel groupe qui sont déjà réalisés dans son type phylétique initial.

([2]) « Morphogenetisches Übergangsfeld ».

(*Université de Fribourg*, Suisse.)

MYCOLOGIE. — *Deux localisations curieuses du* Phialophora atra v. *Beyma*. Note (*) de Mme Jacqueline Nicot, présentée par M. Roger Heim.

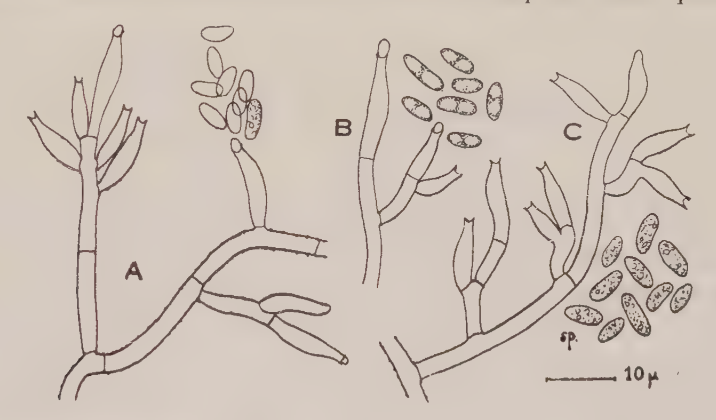
A plusieurs reprises, le Laboratoire de Physique atomique du Collège de France nous a adressé des échantillons de solutions de sucres dans l'eau lourde, contaminées par des moisissures. Des légers flocons clairs ou brunâtres qui flottaient dans ces liquides nous avons isolé divers Micromycètes appartenant à des genres banaux de l'atmosphère, les *Penicillium* étant le plus largement représentés. Parmi les espèces dématiées, peu fréquentes, nous avons retenu un *Phialophora* à spores de taille très irrégulière, prélevé en novembre 1954 dans un flacon d'eau lourde contenant du galactose.

En décembre 1959, M. le Professeur Ozenda nous communiquait une culture du même microorganisme, isolé au Centre d'Études nucléaires de Grenoble, sur la paroi interne de la pile piscine « Melusine ». De petites touffes de filaments bruns végètent en effet dans le logement du batardeau prévu pour isoler le cœur de la pile du compartiment voisin; de temps à autre, ces flocons peu adhérents sont entraînés dans le circuit de refroidissement et viennent s'accoler au cœur de la pile.

Le revêtement interne des parois de béton de la piscine est constitué par des dalles de céramique; l'étanchéité des joints est assurée par une résine éthoxyline (araldite) chargée de poudre d'ardoise, qui adhère fortement à la céramique; le liquide refroidisseur est une eau permutée légèrement acide (pH 5,6-6). Dans les rainures étroites où prennent naissance les feutrages mycéliens, l'intensité du rayonnement est moins forte qu'au voisinage du cœur de la pile; cependant certaines touffes de champignons subissent un rayonnement d'environ 500 rœntgens/h [1]. Ces conditions ne sont pas, *a priori*, favorables au développement des micro organismes. Il semble pourtant que les quelques poussières et matières organiques introduites dans la piscine par sa surface à l'air libre, et qui s'accumulent dans les emplacements relativement abrités, fournissent un substrat suffisant aux moisissures banales de l'atmosphère. Dans un cas analogue (infection bactérienne d'un réacteur), on a émis l'hypothèse d'une utilisation, par les bactéries, de la fraction dissoute des résines échangeuses d'ions qui servent à épurer l'eau [2]; il n'est pas exclu que des moisissures puissent également y trouver un aliment.

Les échantillons prélevés sur le revêtement de la pile et transportés dans des flacons d'eau permutée stérile se présentent comme des touffes lâches, cotonneuses, de couleur gris foncé ou brun noir. A l'examen microscopique, elles apparaissent constituées par des filaments bruns, septés, le plus souvent minces (2,5-3 μ de diamètre), à paroi lisse ou finement

aspérulée, ou un peu plus clairs et plus larges (jusqu'à 3,5 μ de diamètre) et fréquemment associés en cordons; en outre on reconnaît quelques spores brunies, plus ou moins altérées, d'un *Fusarium*, et des bactéries. Si l'on observe ces mêmes échantillons plusieurs jours après le prélèvement, on constate que les filaments les plus minces portent latéralement ou dans le prolongement de leur section des phialides subhyalines ou brun clair, produisant des spores unicellulaires, et caractéristiques du genre *Phialophora*. Ensuite, progressivement, l'échantillon s'altère : les touffes brunes sont voilées par le développement de filaments clairs et de bactéries. Dans ces conditions, l'isolement du champignon dématié est peu aisé; dans tous les ensemencements, les colonies brunes de *Phialophora* sont plus ou moins



Phialophora atra : A, souche D_2 O; B, souche type; C, souche « Mélusine »; sp, spores (G × 1200 environ).

masquées par le développement des bactéries et par un *Fusarium* qui apparaît de façon constante : *F. javanicum* Koorders; en outre, le *Rhizopus nigricans* dominait dans l'un des échantillons, tandis qu'un *Penicillium* se manifestait sporadiquement. Il est probable que les spores d'un certain nombre de moisissures de l'atmosphère, en particulier celles du *Fusarium javanicum*, demeurent viables dans l'eau de la pile; seul le *Phialophora* est susceptible de s'y développer de manière sensible, alors que sur les milieux de culture usuels les organismes à croissance plus vigoureuse reprennent l'avantage.

Les observations suivantes concernent la souche de *Phialophora* isolée à la Faculté des Sciences de Grenoble et qui nous a été transmise par M. Ozenda (souche « Mélusine »). La souche D_2 O, provenant de la solution de galactose dans l'eau lourde, présente les mêmes caractères culturaux et morphologiques.

Sur tous les substrats gélosés employés au Laboratoire, en particulier le milieu à 2 % d'extrait de malt et le milieu de Czapek, la croissance du champignon est d'abord intramatricale : des filaments rayonnants brun noir s'étendent rapidement jusqu'au bord de la boîte de Petri; puis se forme un feutrage aérien généralement limité, gris fumée, ras et serré sur milieu

de Czapek, plus lâche et d'un brun noir sur milieu au malt. A l'examen microscopique, on retrouve les éléments observés dans les échantillons prélevés *in situ* : des filaments stériles brun clair, de 3,5 µ de diamètre, fréquemment anastomosés et associés en cordons ; en surface, des filaments plus minces (2,5-3 µ de diamètre), souvent aspérulés, portant des phialides brunâtres de 10-12 µ de long sur 3,5 µ dans leur plus grande largeur, à collerette bien dessinée, irrégulièrement réparties, simples ou ramifiées, isolées ou en bouquets (*fig.*) ; elles donnent naissance, par un mode endogène, à des phialospores subhyalines, ovoïdes, de taille irrégulière : 3,8-7,2 × 2-3,3 µ (moyenne sur 20 spores 5,3 × 2,4 µ), à contenu finement granuleux, qui restent agglomérées en tête muqueuse à l'extrémité de la phialide.

Ces caractères microscopiques sont ceux du *Phialophora atra* v. Beyma (3), espèce isolée d'un Axolotl à Amsterdam, et considérée comme pathogène pour ce batracien. Toutefois les spores de *P. atra* sont régulièrement biguttulées ; en outre, v. Beyma décrit les cultures de son espèce comme glabres et membraneuses, et insiste sur ce caractère dans sa révision des genres *Phialophora* et *Margarinomyces* (4). Le Centraalbureau voor Schimmelcultures de Baarn nous a communiqué une souche de *P. a.* provenant de l'isolement original de v. Beyma, et nous avons pu constater que les caractères culturaux et microscopiques des trois souches « Mélusine », D_2O et *P. atra* sont, en fait, identiques. Le caractère pathogène de *P. atra*, qui n'a d'ailleurs pas été confirmé, ne nous semble pas justifier une coupure spécifique.

Dans la pile-piscine, comme dans l'eau lourde, *P. atra* végète à l'état de filaments stériles. Nous avons tenté de cultiver la souche D_2O sur milieu gélosé à l'extrait de malt en solution dans l'eau lourde. Nous avons observé un net retard à la croissance et à la pigmentation du champignon, ainsi qu'une condensation de l'appareil conidien et une réduction de la taille des spores ; toutefois il ne nous a pas été permis de renouveler cette expérience onéreuse. De l'ensemble de nos observations, il semble résulter que les modifications imposées au champignon par les conditions particulières du milieu ne sont que provisoires ; transporté sur un milieu de culture usuel, il reprend les caractères du *Phialophora atra* v. Beyma.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) M. le Professeur Ozenda, ainsi que M. R. Gillet, biologiste au C.E.N.G., nous ont fourni la documentation relative à « Mélusine », et transmis les échantillons de moisissures prélevés dans la pile.

(2) E. C. Fowler, L. W. Christensen, E. T. Jurney et W. D. Schafer, *Nucleonics*, 18, 1960, p. 102-105.

(3) F. H. Van Beyma Thoe Kingma, *Antonie van Leeuwenhoek*, 8, 1942, p. 113-114.

(4) *Ibid.*, 9, 1943, p. 51-76.

(*Laboratoire de Cryptogamie du Muséum National d'Histoire naturelle.*)

MYCOLOGIE. — *Une nouvelle espèce de champignon parasite du genre* Antennopsis *Heim sur les Termites de Madagascar.* Note de (*) M. **Harro Buchli**, présentée par M. Roger Heim.

Après la découverte du champignon ectoparasite *Antennopsis gallica* Heim et Buchli, sur le *Reticulitermes lucifugus santonensis*, en 1949 (1), (2), (3) nous venons d'observer une nouvelle espèce, *Antennopsis Grassei*, qui vit en ectoparasite sur trois sortes de Termites provenant de Madagascar.

L'*Antennopsis gallica* était jusqu'ici la seule espèce du nouveau genre *Antennopsis* Heim (4) qui appartient au nouvel ordre des *Gloeohaustoriales* Heim (5), et il n'avait été trouvé que sur les Termites lucifuges de la Rochelle (Charente-Maritime) en France. En février 1960, nous avons cependant reçu par M. Jvan Hrdý (Prague) un pseudergate de *Calotermes flavicollis*, provenant d'une colonie collectée à Dubrovnik (Yougoslavie), également porteur d'*Antennopsis gallica*. Cet ectoparasite semble donc être répandu en Europe et y parasiter les deux espèces de Termites propres à ce continent.

Également en février 1960, nous avons reçu une caisse de bois mort réuni à Madagascar par M. Renaud Paulian. Ce bois mort pourrissant avait été recueilli à la Mandraka, à 60 km à l'Est de Tananarive, et immédiatement envoyé par avion au Laboratoire Arago à Banyuls. Il contenait plusieurs colonies de Termites de la famille des *Calotermitidæ*, parvenues vivantes et en bon état. Nous avons trouvé dans ce colis trois espèces, le *Neotermes amplus* Sjöst., le *Neotermes Desneuxi* Sjöst. et le *Glyptotermes longiceps* Paulian.

Toutes les colonies de ces trois espèces de Termites se montraient parasitées par un champignon appartenant au genre *Antennopsis*, montrant cependant des différences par certains caractères avec l'espèce *gallica* et méritant d'être désigné comme nouvelle espèce que nous nommerons, en hommage à notre Maître, M. le Professeur Pierre-P. Grassé, *Antennopsis Grassei*. Les réceptacles de cette espèce nouvelle se composent des mêmes parties qu'*Antennopsis gallica*, c'est-à-dire d'une « capsule haustoriale » (R. Heim) par laquelle le champignon s'attache sur les plaques chitineuses du Termite et de deux conidiophores qui portent des têtes conidiennes. L'examen anatomique et les coupes histologiques ne révèlent ni la présence d'hyphes dans le corps du Termite ni des altérations d'organes. Les capsules haustoriales sont pigmentées en brun et comportent normalement, comme chez *Antennopsis gallica*, quatre cellules.

Les deux cellules centrales donnent généralement origine à deux conidiophores. Mais chez l'*Antennopsis Grassei*, nous avons trouvé un bon nombre d'anomalies par rapport à l'espèce *gallica* : 1°, nous trouvons des capsules haustoriales qui sont constituées de trois cellules seulement; 2° nous notons assez souvent que trois cellules de la capsule haustoriale

donnent naissance à trois conidiophores; 3° il y a des cas où les deux cellules apicales ont produit les conidiophores tandis que les deux cellules centrales en restent dépourvues.

Les conidiophores sont semblables à ceux d'*Antennopsis gallica*, mais les têtes conidiennes sont bien différentes. Elles ne sont jamais pigmentées et les parois sont moins épaisses. Les cellules sont généralement aussi hautes que larges, tandis que chez l'*Antennopsis gallica* elles sont aplaties et larges, donnant ainsi une tête conidienne plus ramassée.

Comme l'autre espèce, l'*Antennopsis Grassei* pousse sur tout le corps et les extrémités des Termites, mais avant tout sur les plaques de chitine, rarement sur les membranes souples, entre les sclérites.

L'*Antennopsis Grassei* se trouve aussi sur les œufs et les jeunes larves des trois espèces de Termites et toutes les castes sont attaquées. Nos observations n'ont jusqu'ici montré aucun effet nocif de la part de l'*Antennopsis Grassei* sur les Termites, et les têtes conidiennes ne semblent pas produire cette glu incolore qui rend l'*Antennopsis gallica*, uniquement pour des raisons physiques, nocive dans les petites colonies de *Reticulitermes* et de *Calotermes*.

Dans le bois contenant ces Termites de Madagascar nous avons également trouvé deux espèces de Fourmis, trois sortes de Coléoptères et leurs larves, une Blatte, des Collemboles, des Staphylinides, des jeunes et adultes de Diplopodes et Chilipodes, et des Acariens. Aucun de ces nombreux animaux, ni jeune, ni adulte, n'est parasité, bien qu'ils cohabitent tous dans le même bois, et quoiqu'il soit possible de contaminer des colonies de Termites sains en leur apportant du bois provenant d'une colonie parasitée.

Le genre *Antennopsis* semble donc spécifique des Termites. Les essais de contamination faits avec le *Reticulitermes lucifugus* et le *Calotermes flavicollis* d'Europe n'ont pas encore donné, après trois semaines, de résultats. Mais il nous semble vraisemblable, soit par le bois de colonies infestées, soit par contact direct des Termites, de contaminer les espèces européennes de tels insectes avec le champignon parasite de Madagascar et, inversement, les espèces malgaches avec le parasite européen. Des essais de croisement des deux parasites seront entrepris sous peu.

Il est très étonnant que le genre *Antennopsis* se trouve à des endroits aussi éloignés que l'Europe et Madagascar et qu'il n'ait été jusqu'ici trouvé presque nulle part ailleurs. Les spécialistes qui ont étudié les Termites africains sont assez nombreux, mais aucun ne semble avoir observé des représentants du genre *Antennopsis* sur les Termites d'Afrique. Et cependant il faut essayer d'expliquer pourquoi un parasite aussi spécialisé et apparemment rare se trouve en des endroits aussi dispersés. Il est possible qu'il existe un pont et qu'*Antennopsis* se trouve aussi en Afrique sans avoir été remarqué. La seule autre possibilité paraît être qu'une partie inconnue du cycle de développement du champignon se fait dans le bois

et que le genre *Antennopsis* soit répandu par l'homme en transportant le bois. Si du bois de Madagascar est transporté et débarqué en des ports comme Dubrovnik et La Rochelle, les Termites européens attaquant ce bois ont depuis longtemps pu être contaminés, mais une contamination inverse, de l'Europe à Madagascar, reste aussi possible. Car quoiqu'on puisse artificiellement effectuer une contamination directe de Termite à Termite, une pareille voie nous semble irréalisable dans la nature. Les différents peuples de Termites n'entrent pas en contact et s'ils habitent ou fréquentent le même bois, l'espèce la plus faible est généralement supprimée. L'expansion de ces insectes, soit par essaimage, soit par bouturage, est très faible, voire nulle. Ce ne sont pas alors les Termites porteurs d'*Antennopsis* qui le transportent en de nouveaux lieux. Ce parasite, qui semble dépendre des Termites et peut-être aussi du bois habité par ceux-ci, ne peut alors comme ces insectes eux-mêmes couvrir de grandes aires de répartition; celles-ci devraient être géographiquement restreintes, et on ne l'a d'ailleurs jusqu'ici signalé ni des deux Amériques, ni de l'Afrique, ni de l'Asie. S'il n'a pas évolué, indépendamment de l'Europe et de Madagascar, il a, selon toute vraisemblance, été transporté avec du bois, préalablement attaqué par des Termites infestés, de l'une des aires de répartition à l'autre, où s'est formée alors une nouvelle espèce.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) R. Heim et H. Buchli, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 277.

(2) H. Buchli, *Trans. IXe congr. Ent.*, 1, 1952, p. 519-524.

(3) H. Buchli, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1320.

(4) R. Heim, *Bull. Soc. Mycol. Fr.*, 67, fasc. 4, 1951 p. 336-364.

(5) R. Heim, *VIe Congr. int. de Patol. comp. Madrid*, 1, 1952 p. 15-21.

(*Laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer.*)

MYCOLOGIE. — *Sur la composition en acides nucléiques de la phase mycélienne de* Sporotrichum schenckii. Note de (*) M. **François Mariat**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

La phase mycélienne de *Sporotrichum schenckii* est caractérisée par une teneur élevée en acide ribonucléique, en particulier dans les premiers jours de la croissance. Les rapports ARN/ADN varient de 17,3 à 6,01. Ces rapports s'opposent à ceux de la phase levure du même champignon qui varient de 1,40 à 0,71.

On sait que la forme levure, unicellulaire de *Sporotrichum schenckii* équivaut à la phase parasitaire de ce champignon pathogène dimorphique alors qu'au contraire la forme mycélienne équivaut à la phase saprophytique. Les différences qui caractérisent les deux formes ne sont pas seulement d'ordre morphologique mais également d'ordre physiologique et biochimique. Nous avons précédemment rapporté la teneur en acides nucléiques de la phase levure de ce champignon (1). Nous indiquons dans la présente Note les résultats des dosages des acides ribo- et désoxyribonucléique de la phase filamenteuse de *S. schenckii* et nous les comparons à ceux de la phase levure.

Nous utilisons une souche de *Sporotrichum schenckii* d'origine humaine (collection Service de Mycologie nº 29). Il est possible suivant les conditions de culture d'obtenir ce champignon sous forme levure ou filamenteuse (2).

Pour obtenir des quantités suffisantes de mycélium, les cultures sont réalisées en fioles de Roux dans le milieu liquide suivant, réparti à raison de 150 ml par fiole : KH_2PO_4, 1,50 g; asparagine, 1,00 g; $MgSO_4$ $7H_2O$, 0,50 g; glucose, 20 g; solution oligodynamique de Berthelot, X gouttes; thiamine, 1.10^{-6} acide nicotinique, 1.10^{-7}; pantothénate de calcium, 1.10^{-7}; pyridoxine, 1.10^{-7}; biotine, 1.10^{-9}.

Les fioles sont ensemencées avec 3 ml d'un inoculum riche (environ 1.10^7 germes/ml). Les fioles de Roux ensemencées sont incubées à 30°. Après divers temps d'incubation, les cultures obtenues sont récoltées sur filtre puis lavées abondamment à l'eau distillée froide. Le gâteau de mycélium est pesé frais puis broyé dans l'alcool à 70 % à l'aide d'un broyeur à billes MSK, sous un jet de neige carbonique qui maintient une température inférieure à 0°. Le broyat est conservé à — 10° dans l'alcool à 70 %. Le volume de suspension est égal ou supérieur à 150 ml pour un poids frais égal ou supérieur à 4 g.

Après un contact d'au moins 48 h, on effectue sur des fractions aliquotes les poids secs ainsi que les dosages de l'azote protéique (NP) et des acides ribonucléique (ARN) et désoxyribonucléique (ADN). Pour le dosage des acides nucléiques, nous avons utilisé les techniques recommandées par Ogur et coll. (3), (4). Le dosage de ces composés dans la phase levure du

champignon par la technique d'extraction en un temps avec le seul acide perchlorique 0,5 N (dosage des acides nucléiques totaux par spectrophotométrie et de l'ADN par la méthode de Dische) nous avait donné d'excellents résultats. L'emploi de cette même méthode pour la phase filamenteuse donne des résultats assez inconstants. Nous avons donc préféré, après avoir essayé diverses modifications, extraire d'abord les ARN à 37° pendant 24 h par l'acide perchlorique normal (dosage au spectrophotomètre Jobin et Yvon à 265 mμ) puis ensuite les ADN à 70° C dans l'acide perchlorique 0,5 N (dosage au spectrophotomètre à 258 mμ).

Avec l'une ou l'autre méthode d'extraction, les teneurs en acides nucléiques notées à la suite de nombreux dosages sont du même ordre. Nous ne donnons cependant ci-dessous que les résultats obtenus avec la technique d'extraction en deux temps par les acides perchloriques N et 0,5 N. Dans le tableau I on trouvera les différentes teneurs en acides nucléiques rapportées au microgramme d'azote protéique. Pour rendre la comparaison plus aisée, nous rappelons également les nombres obtenus avec la phase levure (tableau II).

TABLEAU I.

Teneur en acides nucléiques de la phase mycélienne de Sporotrichum schenckii.

Temps de culture (jours).	$\frac{ARN}{ADN}$.	$\frac{ANT}{NP}$.	$\frac{ARN}{NP}$.	$\frac{ADN}{NP}$.
3	17,3	0,984	0,931	0,053
6	9,6	0,546	0,494	0,051
12	6,01	0,628	0,538	0,089
19	7,47	0,502	0,442	0,059

TABLEAU II.

Teneur en acides nucléiques de la phase levure de Sporotrichum schenckii.

Temps de culture (jours).	$\frac{ARN}{ADN}$.	$\frac{ANT}{NP}$.	$\frac{ARN}{NP}$.	$\frac{ADN}{NP}$.
3	1,40	0,54	0,316	0,224
6	1,42	0,43	0,254	0,178
12	1,01	0,44	0,220	0,220
18	0,71	0,38	0,160	0,220

ANT, acides nucléiques totaux; ARN, acide ribonucléique; ADN, acide désoxyribonucléique; NP, azote protéique.

Ces résultats confirment donc ce que nous avions indiqué précédemment. Les rapports ARN/ADN de la phase mycélienne de *S. schenckii* sont beaucoup plus élevés que ceux de la phase levure. La teneur en acide ribonucléique est surtout plus grande dans les premiers jours de la croissance pour tomber ensuite à un niveau où elle se stabilise. Cet aspect de la courbe des rapports ARN/ADN en fonction des temps de culture a été constant au cours des nombreuses expériences que nous avons réalisées

et ceci quelle que soit la méthode d'extraction utilisée. S'il est bon de tenir compte du déphasage existant entre la croissance de la phase mycélienne et celle de la phase levure (le taux de croissance de cette dernière étant beaucoup plus élevé), cela ne peut suffire à expliquer les très grandes différences que l'on note entre les teneurs en acides nucléiques de chacune des phases. Il y a entre elles des différences de constitution biochimique telles que celles que nous rapportons ici, mais d'autres également, qui sont actuellement à l'étude, comme la teneur en polysaccharide. On note également des différences dans le métabolisme respiratoire.

En conclusion, chacune des phases du champignon dimorphique *Sporotrichum schenckii* est caractérisée par une teneur en acides nucléiques qui lui est propre : la phase mycélienne contenant beaucoup plus d'acide ribonucléique que la phase levure. Cette dernière est particulièrement riche en acide désoxyribonucléique.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) F. Mariat, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3468.
(2) E. Drouhet et F. Mariat, *Ann. Inst. Pasteur*, 83, 1952, p. 506.
(3) M. Ogur et G. Rosen, *Arch. Biochem.*, 25, 1950, p. 262.
(4) M. Ogur, S. Minckler, G. et C. Lindegren, *Arch. Biochem. Biophys.*, 40, 1952, p. 175.

(*Service de Mycologie, Institut Pasteur.*)

CYTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Processus inframicroscopique de la régression plastidale et d'harmonisation de croissance de la pellicule ectoplasmique lors de l'initiation des méristèmes floraux chez* Chrysanthemum segetum *L.* (*Composées*). Note de Mme **Arlette Lance-Nougarède**, présentée par M. Lucien Plantefol.

Des chloroplastes, aux infrastructures bien individualisées, peuvent régresser à l'état de proplastes indifférenciés par perte de leur lamellisation et par réduction de leur substance fondamentale, lorsque les cellules auxquelles ils appartiennent deviennent organogènes. Ces cellules à prolifération rapide montrent des processus particuliers d'extension de la pellicule ectoplasmique.

Dans le méristème inflorescentiel de *Chrysanthemum segetum*, les cellules superficielles qui ne sont pas immédiatement intéressées par l'initiation des protubérances florales se différencient et acquièrent très vite de nombreux plastes. Dans les jeunes méristèmes floraux, le microscope photonique permet de voir, au contraire, un chondriome « homogène » où les plastes sont indistincts des mitochondries. Ces faits prouvent l'existence d'une régression des structures plastidales lors de l'initiation florale. L'étude, au microscope électronique, du méristème inflorescentiel de *Chrysanthemum segetum* et des protubérances florales en cours d'initiation, nous a permis de préciser les processus inframicroscopiques de cette régression.

Dans les cellules axiales du manchon inflorescentiel, le cytoplasme dense, riche en « grains de Palade » (*fig.* 1) montre cependant des plastes lenticulaires de 2 à 4 μ de longueur. Leurs zones granaires (*fig.* 1, *gr*) sont épaisses, fournies de trois à huit disques empilés dont les parois peuvent avoir 40 Å d'épaisseur; leurs zones intergranaires (*fig.* 1, *igr*) sont irrégulières.

Dès les premières mitoses d'initiation florale, le cytoplasme, très dense, et alors spécialement riche en grains de Palade (*fig.* 2), offre encore des plastes de forte taille. Ceux-ci, lenticulaires ou arrondis (*fig.* 2 et 3), ont une substance fondamentale abondante. Les granums, prélablement nombreux et fort distincts (*fig.* 1, *gr*), forment d'abord des paquets isolés de disques empilés (*fig.* 2, *gr*) dont les parois s'amincissent tandis que leur osmiophilie décroît. Les plastes montrent, peu après (*fig.* 3) de longues lamelles portant encore sur leur trajet des granums résiduels *gr*, irréguliers et de très faibles dimensions. Certaines des lamelles internes doubles s'organisent en couches concentriques (*fig.* 3, *lc*) à la paroi plastidale externe. Ces phénomènes témoignent d'une régression très nette de la lamellisation à l'intérieur même du plaste dont la substance fondamentale est, par là même, plus abondante.

Au cours de cette régression les plastes deviennent de plus en plus défor-

mables et, souvent, d'aspect amiboïde. La figure 4 présente un tel amas de substance plastidale qui se trouve segmentée par des doubles membranes contiguës *mc*. Les dimensions de l'ensemble suggèrent qu'il s'agit d'un même chloroplaste initial qui s'est résolu en plusieurs plastes indifférenciés.

Mais les mitoses s'intensifient dans la jeune protubérance florale en voie de croissance rapide. Les dimensions des plastes se réduisent continuellement, aux dépens de leur substance fondamentale (*fig.* 5 et 6). Certains montrent encore des lamelles internes résiduelles (*fig.* 5, *l*), d'autres en sont dépourvus (*fig.* 6) et ne montrent que quelques replis de la paroi; ce sont alors des éléments de faible diamètre (0,8 μ) dont la double membrane limitante entoure une substance fondamentale particulièrement claire aux électrons après la fixation au peroxyde d'osmium.

Dans les protubérances florales achevées (*fig.* 8), le cytoplasme dense montre alors, près des mitochondries, des proplastes de faible diamètre qui résultent, au moins pour la plupart, de la régression structurale que nous venons de suivre.

En bref, si les proplastes peuvent acquérir des structures internes particulières (granums et zones intergranaires), ils sont aussi capables de perdre les attributs de leur spécialisation, lorsque les cellules auxquelles ils appartiennent sont entraînées dans un processus d'organogenèse.

L'étude des jeunes méristèmes floraux de *Chrysanthemum segetum* nous a, de plus, permis de saisir un comportement particulier de la pellicule ectoplasmique. Dans ces cellules jeunes où la croissance de la membrane est importante, nous avons souvent noté, le long de la pellicule ectoplasmique, des accumulations de globules osmiophiles, denses aux électrons, et de nature vraisemblablement lipidique (*fig.* 3 et 4, *gl*). Ces globules

Explication des figures.

Chrysanthemum segetum: méristème inflorescentiel et protubérances florales.

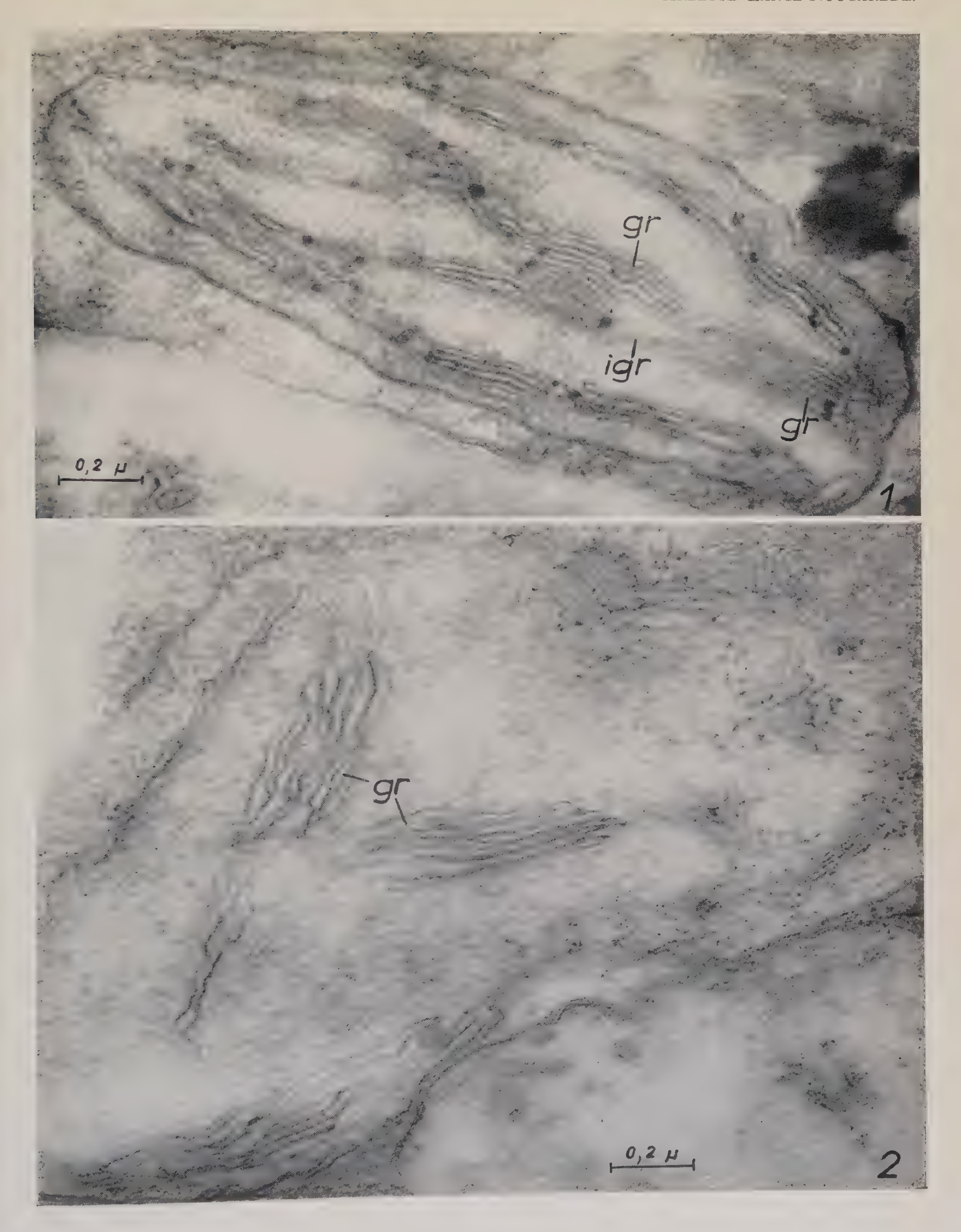
Fig. 1. — Aire cytoplasmique dans la couche superficielle du méristème inflorescentiel. Cytoplasme dense, plaste chlorophyllien avec d'épais granums, *gr*, et des zones intergranaires, *igr*, irrégulières.

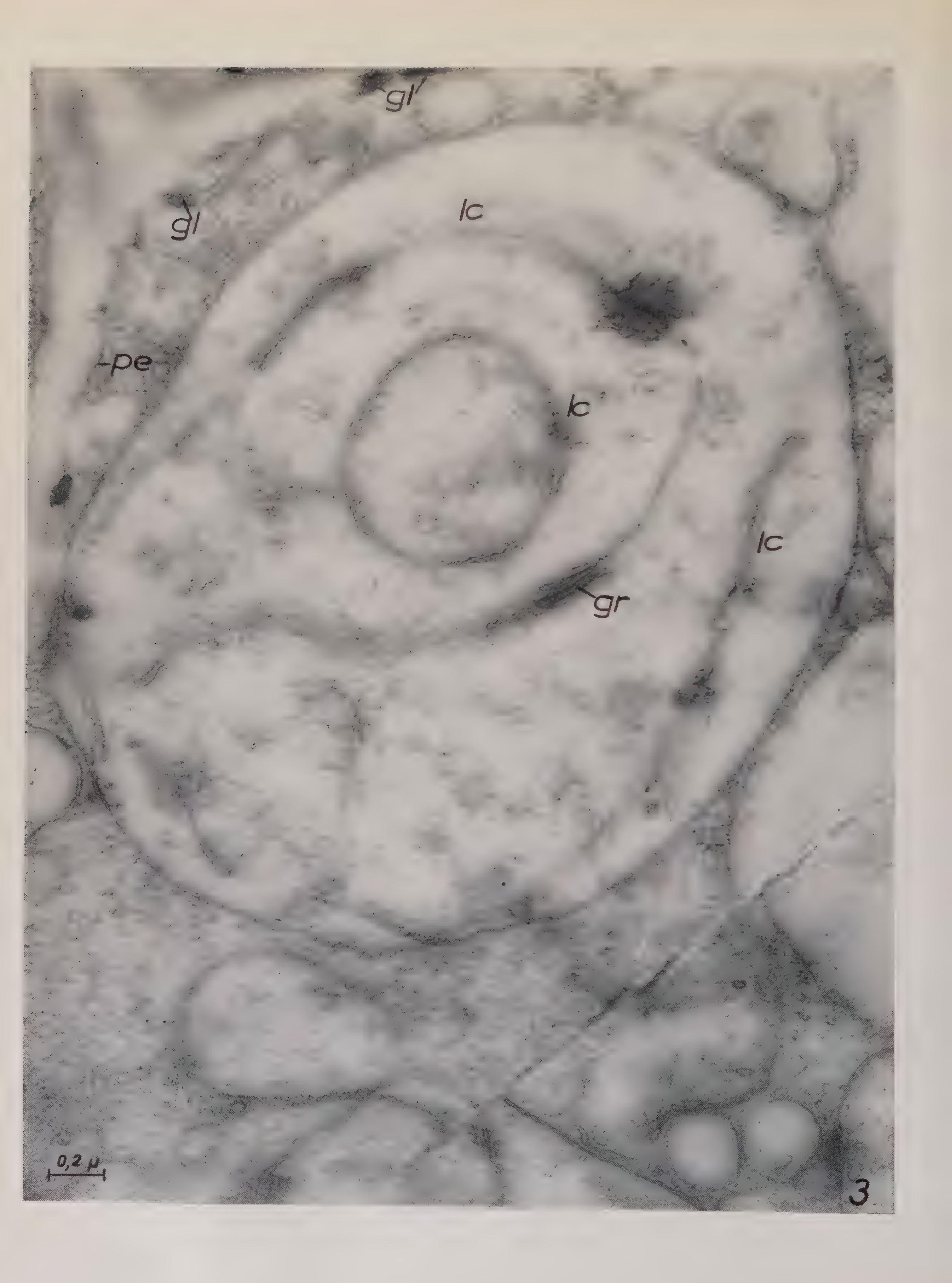
Fig. 2 à 4. — Cellules initiant une protubérance florale.

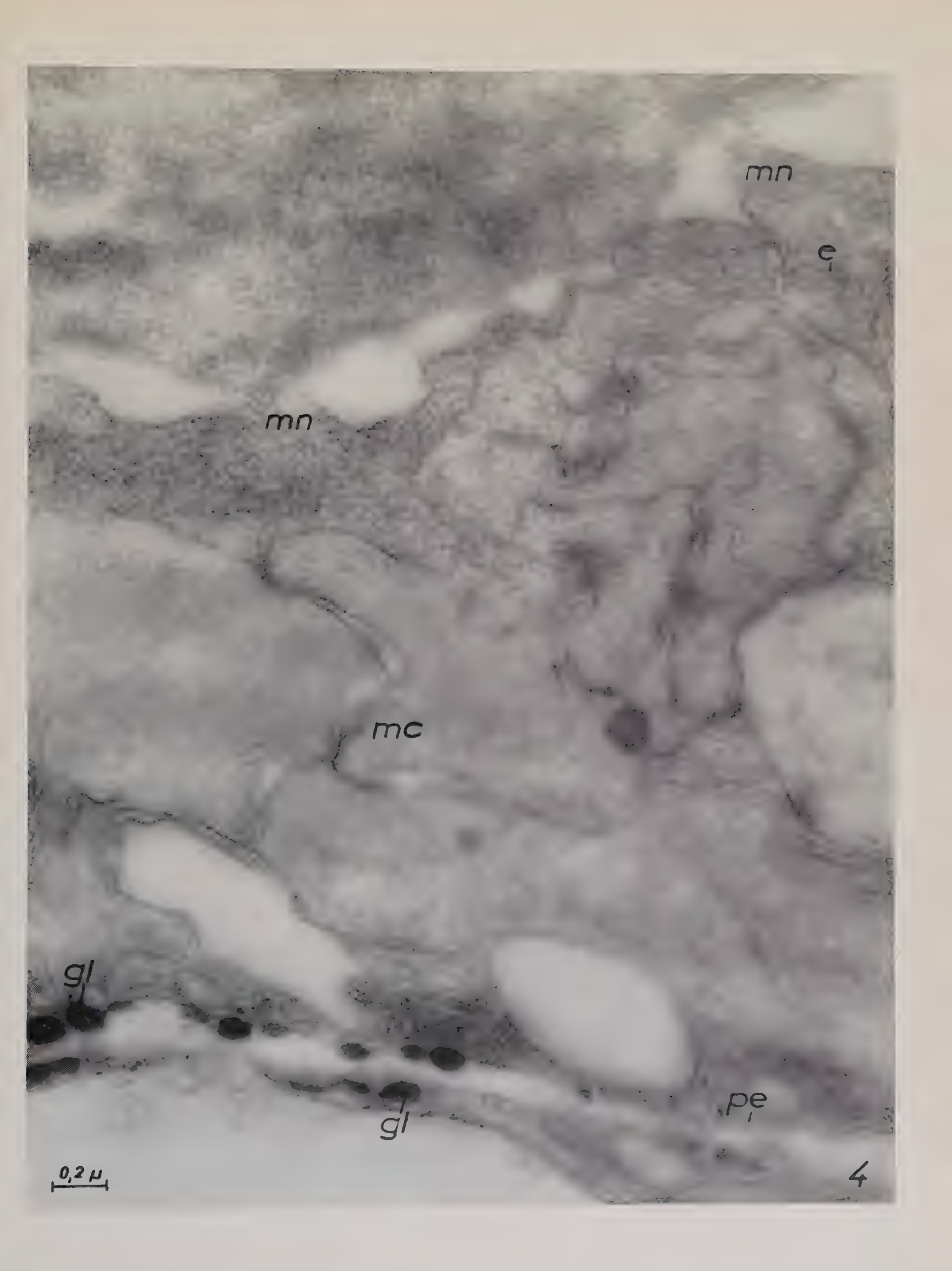
Fig. 2. — Portion d'un plaste chlorophyllien en cours de régression; réduction du nombre et de la taille des granums, *gr*, parois des disques constitutifs plus minces et moins osmiophiles que ceux de la figure 1.

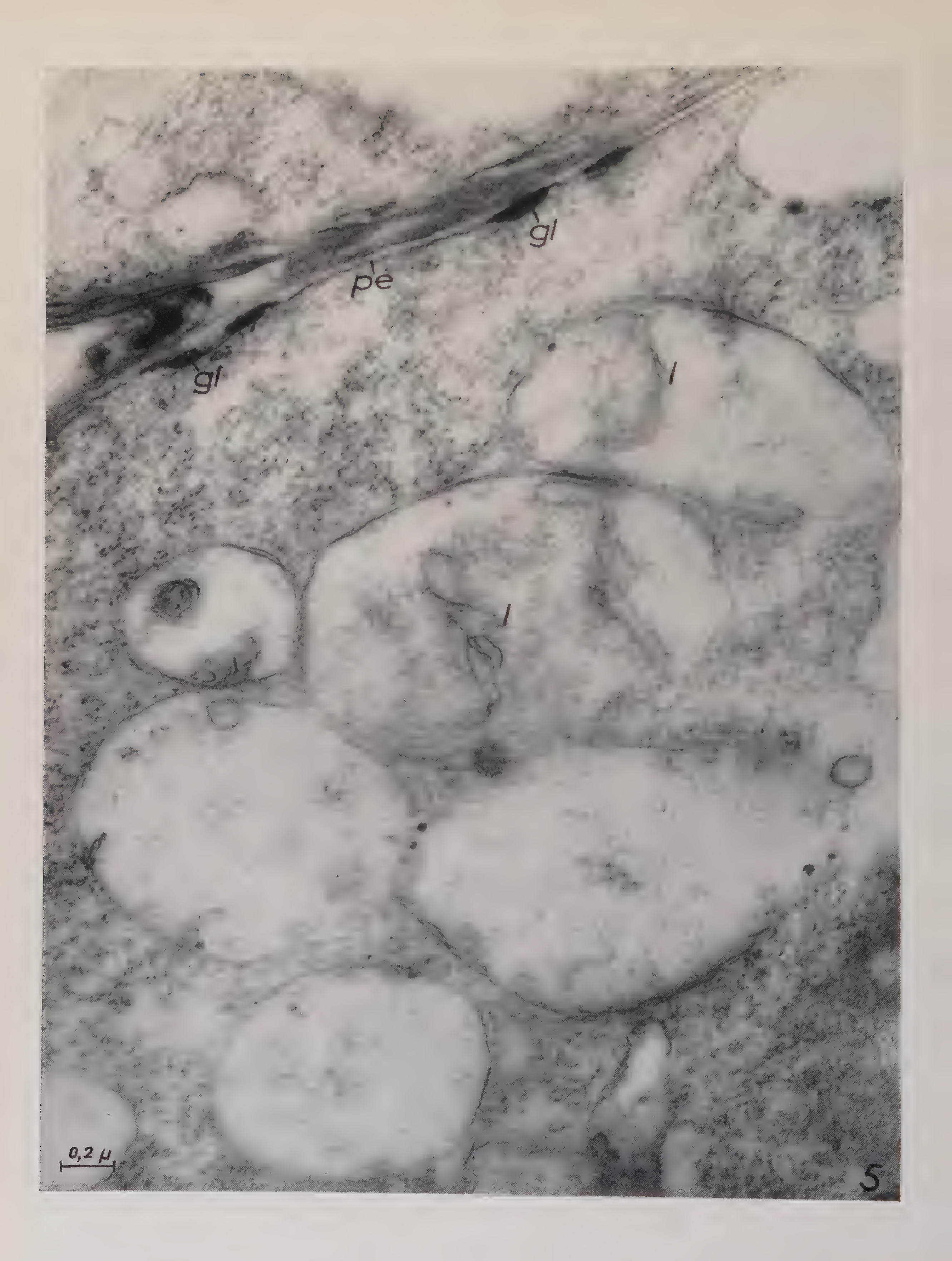
Fig. 3. — Accentuation du processus de régression plastidale; résorption des structures granaires, *gr*, et organisation des lamelles résiduelles en couches concentriques, *lc*, à la membrane plastidale. Noter, sur la pellicule ectoplasmique, l'accumulation de globules osmiophiles lipidiques, *gl*.

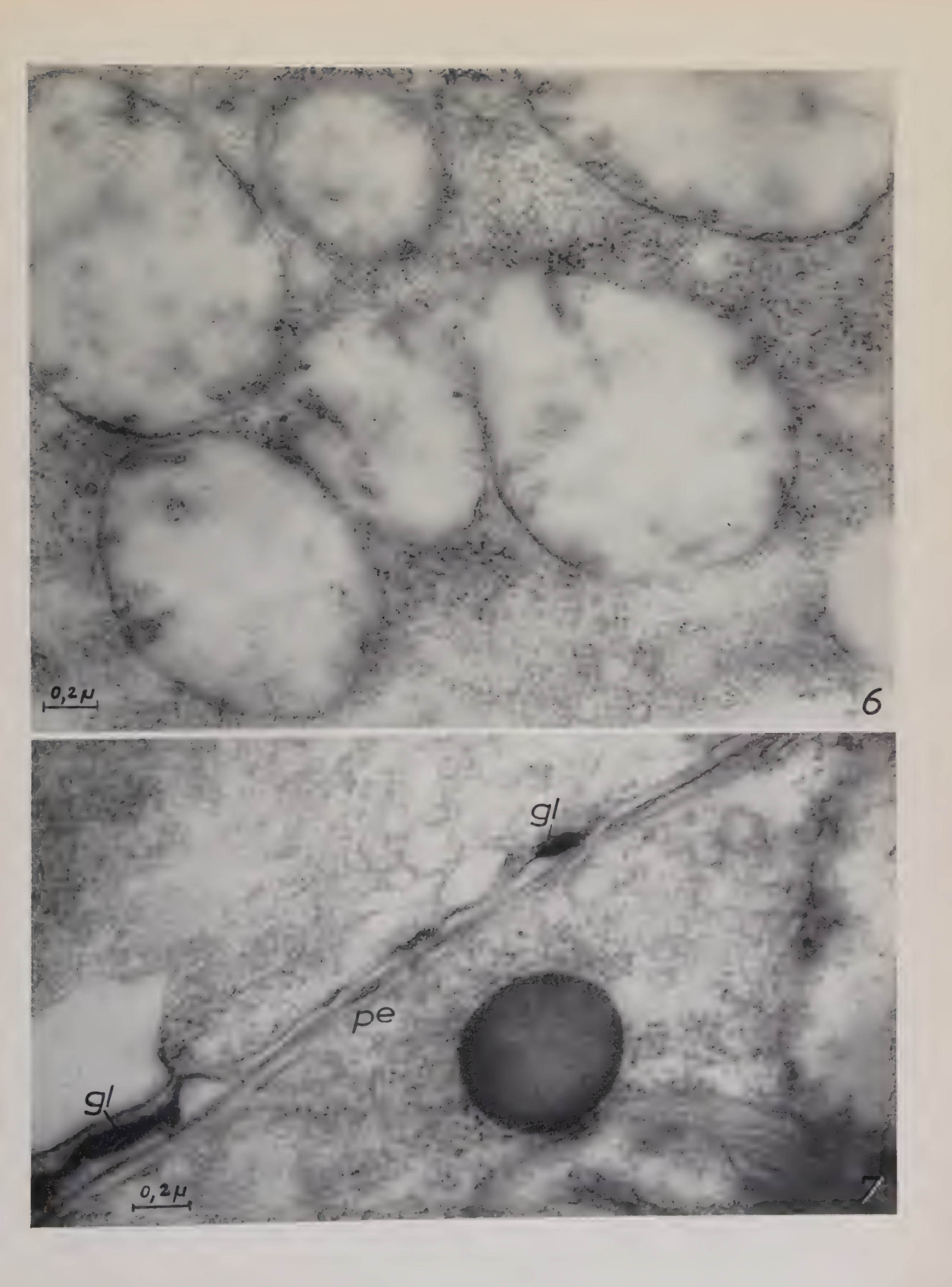
Fig. 4. — Amas de substance plastidale en cours de régression, et segmentée par des doubles membranes contiguës, irrégulières, *mc*; *au haut*, membrane nucléaire double, *mn*, dilatée çà et là en vésicules parfois reliées au réticulum endoplasmique, *e*; *au bas*, membrane cellulaire formée par la pellicule ectoplasmique, *pe*, et portant, de place en place, des globules osmiophiles lipidiques, *gl*, de 1 000 Å de diamètre. Cette configuration spéciale de la pellicule ectoplasmique est liée à la croissance membranaire.


gr
igr
gr
0,2 μ
1
gr
0,2 μ
2


gl'
gl
lc
pe
lc
lc
gr
0,2 μ
3


mn
e
mn
mc
gl
gl
pe
0,2 μ
4


gl
pe
gl
l
l
0,2 μ
5


0,2 μ
6
gl
pe
gl
0,2 μ
7

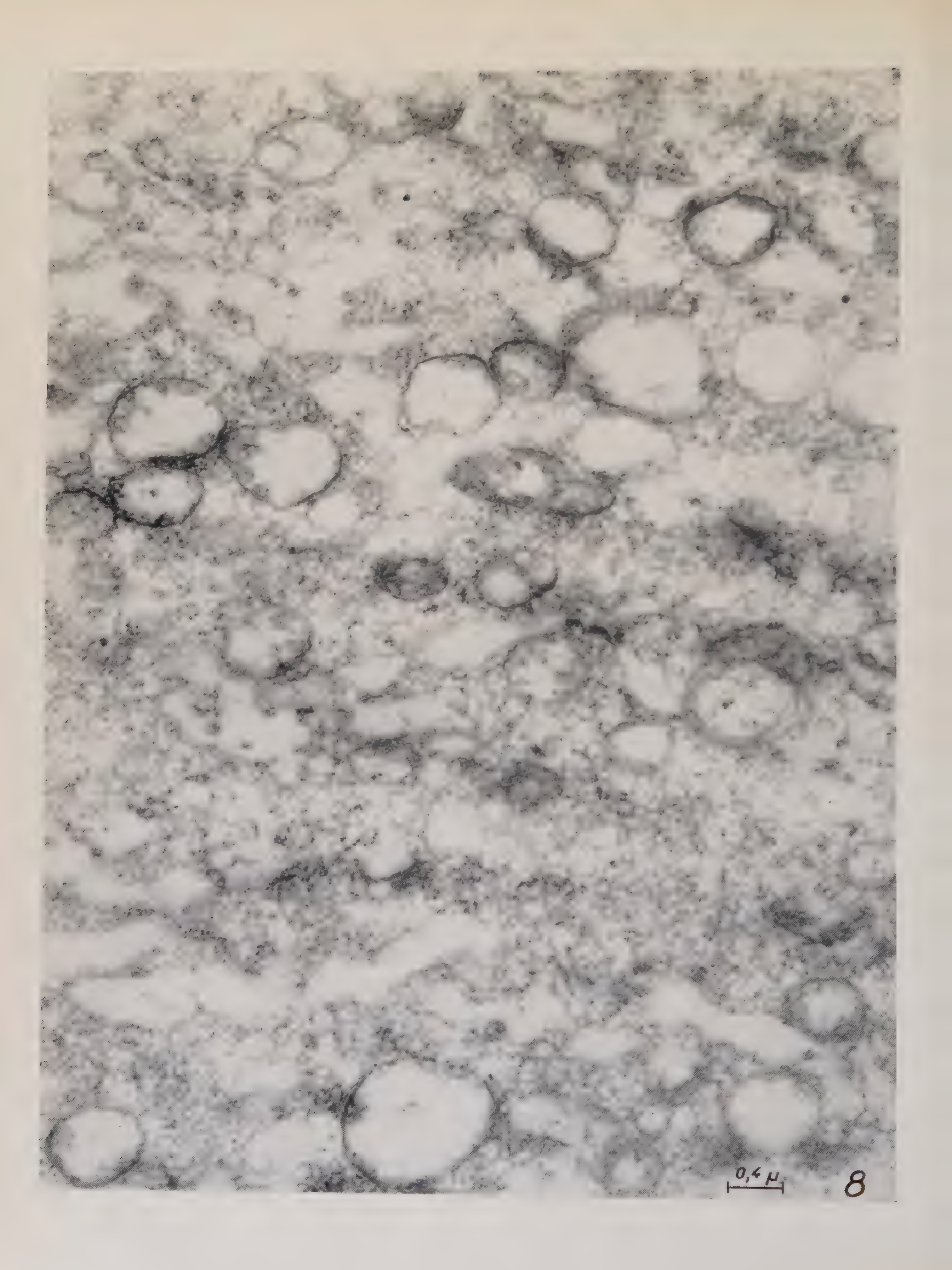

0,4 μ
8

Fig. 5. — Protubérance florale en cours d'organisation. Cytoplasme très dense et plaste régressé offrant encore quelques lamelles internes résiduelles, *l*; *au haut*, pellicule ectoplasmique sur laquelle s'étalent des accumulations lipidiques, *gl*.

Fig. 6. — Aire cytoplasmique dans une protubérance florale bien organisée. Groupe de plastes régressés; substance fondamentale très peu osmiophile; crêtes internes très rares.

Fig. 7. — Aspect particulier de la pellicule ectoplasmique, *pe*; accumulations locales de substances lipidiques osmiophiles, *gl*, qui s'étalent à la surface de la pellicule ectoplasmique puis s'intègrent à elle.

Fig. 8. — Aire cytoplasmique dans une cellule appartenant à une protubérance florale en voie d'organogenèse. Abondance de proplastes et de mitochondries indifférenciés dans le cytoplasme riche en grains de Palade.

lipidiques s'étalent peu à peu à la surface de la pellicule ectoplasmique (*fig.* 5, *gl*) à laquelle ils s'intègrent finalement (*fig.* 7, *gl*).

Il est probable que ces structures, qui nécessiteront une étude ultérieure, représentent un mode d'accroissement de la pellicule ectoplasmique, membrane plasmique continue, par une sorte d'intussusception, mode différent de l'accroissement, discontinu, décrit par Hodge et coll. [1] pour les lamelles plastidales entre autres.

(1) A. J. Hodge, J. D. Mc Lean et F. V. Mercer, *J. Biophys. and Biochem. Cytol.*, 2, 1956, p. 597-608.

(*Laboratoire de Botanique de l'École Normale Supérieure.*)

CYTOCHIMIE. — *Mise en évidence de l'hétérogénéité d'une lignine native de* Populus canescens *Sm.* Note (*) de M. **Jacques Desmet**, présentée par M. René Souèges.

L'obtention, à partir d'une lignine native de *Populus canescens* Sm., de fractions différant par certaines propriétés physiques ainsi que par leur réaction au test de Wiesner est interprétée comme un signe évident de l'hétérogénéité de cette lignine.

Les lignines natives passent pour être des produits peu altérés et, de ce fait, servent très souvent de lignines de référence. Une analogie certaine avec la lignine résiduelle, habituellement non extractible par les solvants neutres, a été démontrée par différents auteurs (1) à (3).

Toutefois, la définition précise des caractéristiques physiques et chimiques d'une lignine native susceptible de servir de substance de référence, n'a de valeur que si cette lignine est un produit pur. Or, il ne semble pas que ce caractère de substance pure puisse être attribué *a priori* à toute lignine native. Les travaux de Schubert et Nord (4) ainsi que ceux de Hess (5) nous amenaient à cette idée en démontrant que certaines de ces lignines pouvaient être des mélanges fort complexes. Ce dernier mettait particulièrement en évidence l'hétérogénéité d'une lignine native de *Picea mariana* Mill.

Les conclusions de Hess pouvaient-elles être étendues à des lignines natives provenant d'autres espèces végétales ? C'est ce que nous avons recherché en nous attachant à l'étude d'une lignine native de *Populus canescens* Sm. obtenue selon la méthode de Brauns (6). Les opérations de purification ont consisté en des précipitations répétées par l'eau et par l'éther éthylique.

La lignine native ainsi obtenue après purification est une poudre très claire de teinte havane. Soluble dans l'éthanol, le dioxanne, l'acide acétique et les solutions alcalines diluées, elle est insoluble dans l'eau, l'éther éthylique et le benzène. Le rendement calculé par rapport au poids du bois sec est de 2,4 %.

La mise en solution dans le dioxanne est favorisée par la présence de traces d'eau et la liqueur ainsi obtenue, de teinte brun rouge très prononcée, présente une intense coloration rouge violet à la réaction de Wiesner (7) (obtenue par addition du réactif suivant : 3 vol. de solution de phloroglucine 0,1 M dans l'éthanol à 96° + 1 vol. d'acide chlorhydrique concentré).

Cette lignine native purifiée a été fractionnée selon une méthode comparable à celle de Hess (5); la précipitation des fractions est obtenue par additions successives de quantités définies de benzène à un volume déterminé de solution de lignine dans le dioxanne. Nous nous sommes limité à séparer le produit initial en quatre fractions (A, B, C, D).

Le mode opératoire est résumé dans le tableau I :

TABLEAU I.

Volumes de benzène ajoutés successivement à 10 ml de solution de lignine native dans le dioxanne (ml).	Volume total de benzène ajouté pour obtenir chaque fraction (ml).	Dénomination de la fraction.	Couleur du produit sec.	Rendement en chaque fraction par rapport à la lignite native totale (%).
4	4	A	Brun très sombre	13
5	9	B	Brun orangé	37
30	39	C	Blanc crème	43
Résidu restant en solution après addition des 39 ml de benzène...		D	Jaune	7
				100

Partant des quatre fractions ainsi isolées, nous avons réalisé des solutions à 5 % de chacune d'elles dans le dioxanne et avons pu faire diverses constatations concernant notamment la solubilisation dans le dioxanne et la précipitation par l'eau (tableau II).

TABLEAU II.

Fraction.	Coloration des solutions dans le dioxanne.	Solubilité dans le dioxanne	Caractères de la précipitation de chacune des fractions de sa solution dans le dioxanne.	
			par l'eau (10 vol).	par l'éther (16 vol).
A.....	Brun foncé	La mise en solution *exige* l'addition de 5 à 10 % d'eau	Difficile : floculation très lente même en présence de $BaCl_2$	Facile : floculation immédiate
B.....	Brun rouge intense	La solubilisation est favorisée par des traces d'eau	Floculation plus rapide	id.
C.....	Jaune ambré très clair	Très soluble	Floculation très rapide	id.
D.....	Jaune	Très soluble	–	–

D'autre part, la réaction de Wiesner a été effectuée sur des volumes identiques de solution à 5 % de chacune des fractions, dans le dioxanne (2 ml de solution + 1 ml de réactif); A, B, C et D ont présenté une réaction positive instantanée.

Les variations des colorations obtenues sont précisées dans le tableau III ci-après.

Ces quelques observations permettent déjà d'affirmer que la lignine native de *Populus canescens* Sm., même après purification soignée, n'est pas un produit homogène.

Toutefois, étant donné le choix arbitraire des conditions de précipitation, ces quatre fractions ne peuvent être considérées comme des substances chimiquement pures. En effet, nous avons pu constater qu'il était possible d'obtenir un nombre beaucoup plus élevé de fractions à partir d'une même solution de lignine native que celle qui a été utilisée ici, en procédant par additions successives de quantités plus faibles de benzène. Les premières fractions ainsi obtenues étaient de teinte brun foncé alors que les dernières étaient très peu colorées. Toutes présentaient une réaction positive plus ou moins marquée au test de Wiesner.

Tableau III.

Nature du produit en solution.	Intensité de la coloration violet rouge observée 1 mn après l'addition du réactif.	Teintes observées après. 4 mn.	8 mn.	40 mn.
Lignine native totale.... .	++	Violet rouge vineux	Violet rouge brunâtre	Brun violacé
Fraction A....	+	Jaune ambré rosé	Jaune brun rosé	Brun jaunâtre
» B....	+++	Violet rouge lie de vin	Brun rouge violacé	Brun
» C....	++++++	Violet rouge intense	Violet rouge	Lie de vin
» D....	très faible	rose vineux	Jaune brunâtre	Jaune

Ces résultats sont à rapprocher de ceux qu'a obtenus Hess (5) avec une lignine native de *Picea mariana* Mill.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) F. F. Nord et W. J. Schubert, *J. Amer. Chem. Soc.*, 72, 1950, p. 977.
(2) W. J. Schubert et F. F. Nord, *J. Amer. Chem. Soc.*, 72, 1950, p. 3835.
(3) A. Björkman, *Svensk Papperstidning*, 13, 1956, p. 477.
(4) W. J. Schubert et F. F. Nord, *Proc. Nat. Acad. Sc.*, 41, 1955, p. 122.
(5) C. L. Hess, *Tappi*, 35, 1952, p. 312.
(6) F. E. Brauns, *The Chemistry of lignin* chap. V, 1952, p. 51.
(7) J. Wiesner, *Sitzber. Akad. Wiss.*, Wien, Naturw. Klasse, 77, 1878, p. 60.

(*Laboratoire de Botanique de l'École française de Papeterie.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Localisation et équilibre du calcium dans le Maïs en face du magnésium et du potassium.* Note de MM. **Jean Calmès**, **Jules Carles**, **Louis Soubiès** et **Roger Gadet**, présentée par M. Raoul Combes.

Bien que le calcium et le magnésium aient d'abord un comportement semblable, ils se différencient assez vite par suite de la plus grande insolubilisation du calcium : le potassium intervient davantage dans le remplacement du magnésium par le calcium que dans le remplacement du calcium par le magnésium.

Le calcium se localise pour la plus grande part dans le limbe des feuilles de Maïs [1], où il se porte au maximum vers les extrémités. Si nous considérons les teneurs en calcium depuis la tige jusqu'au sommet de la feuille en passant par la gaine, le taux de calcium est toujours croissant. Voici, par exemple pour l'hybride WF 9 XM 14, ces teneurs pour les feuilles du centre de la tige, dans la région de l'épi femelle, en milliéquivalents pour 100 g de poids frais.

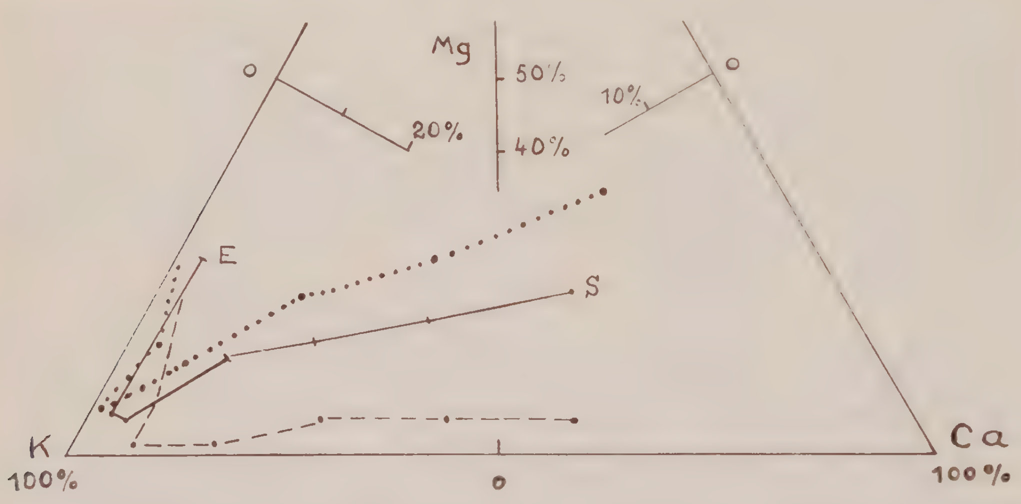
			Limbes.		
	Tige.	Gaines.	Bas.	Milieu.	Haut.
Jeune pied	1,05	2,55	3,20	5,53	10,10
Épiaison	0,76	2,66	3,15	6,17	11,88
Stade laiteux	0,68	3,43	6,77	10,82	19,47

Ce gradient de bas en haut s'accentue au cours des semaines et se généralise à l'ensemble de la plante dès que le développement est terminé : le taux de calcium dans les limbes va en augmentant depuis les plus basses feuilles jusqu'aux plus hautes. Cependant, cet état de choses est assez lent à s'établir par suite d'un des traits caractéristiques du calcium, la lenteur de ses migrations et son immobilisation dès qu'il est arrivé à son terme. Dans la jeune plante, la feuille du bas, la première développée, atteint très vite une haute teneur en calcium, alors que les feuilles suivantes commencent à peine à se munir de cet élément : le taux est ainsi décroissant du bas vers le haut, et ceci dure aussi longtemps que la croissance, mais lorsque celle-ci est terminée, le calcium rétablit progressivement le gradient normal et les teneurs croissantes depuis le bas jusqu'aux extrémités.

	Limbes du bas.				Limbes du haut.
Très jeune pied	9,57	6,27	3,42	—	—
Jeune pied	10,64	6,33	6,21	3,31	—
Épiaison	11,95	8,31	6,76	6,13	5,30
Stade laiteux	12,40	11,90	12,06	13,11	15,03

Il est, d'autre part, remarquable de constater à quel point les teneurs en calcium et en azote sont proportionnelles l'une à l'autre : si l'azote manque, le calcium diminuera à peu près dans les mêmes proportions et une plante

riche en azote le sera normalement en calcium. Malgré cette conformité, une différence énorme de comportement sépare l'azote du calcium. L'azote est rapide dans ses migrations, à tel point qu'il s'accumule dans les points de croissance où il est peu à peu dilué par la multiplication des tissus. Le calcium est, au contraire, presque absent des tissus en croissance : il arrive en retard dans la feuille bien développée et il augmente encore à un moment où l'azote migre déjà vers les grains en formation. Cette migration se fait d'ailleurs assez mal si le calcium n'est pas arrivé, tant et si bien qu'on en vient à se demander si ces deux faits ne sont pas liés et comment ils pourraient l'être.



Proportion de potassium, calcium et magnésium, au stade de maturité laiteuse, du sommet des feuilles jusqu'à l'épi femelle : sommet du limbe (S), milieu, bas, gaine, tige, pédoncule, épi (E).

Alimentation normale ———,
carence en calcium ········, en magnésium - - -.

Par rapport au magnésium, le calcium est, jusqu'à un certain point, complémentaire et ces deux métaux alcalino-terreux sont susceptibles de se remplacer l'un l'autre, mais dans des limites assez restreintes. Le calcium qui semblerait devoir jouer un rôle important dans l'équilibre ionique paraît n'intervenir qu'assez peu, et c'est pourquoi, sur ce point, il peut être pratiquement négligé : la somme du magnésium et du potassium est presque une constante [2] car ces deux cations sont et restent, pour leur plus grande part, solubles.

Si nous considérons, avec le triangle de Lagatu et Maume, l'équilibre des trois principaux cations, K, Mg et Ca, nous voyons la différenciation s'introduire petit à petit pour ces trois éléments qui se localisent de plus en plus au cours de la vie de la plante. Prenons-les au moment où cette différenciation est à peu près terminée, au stade laiteux de la maturation.

Le fait le plus frappant est l'augmentation d'importance du potas-

sium dans la mesure où l'on va vers la tige. Il représente 90 % de l'ensemble des milliéquivalents des trois cations. Dans la gaine sa quantité augmente et il atteint 19,20 méquiv au lieu de 13,50 dans la tige, mais cette augmentation est faible en comparaison de celles du calcium et du magnésium qui deviennent près de cinq fois plus abondants.

Dans la plante normalement approvisionnée nous voyons, sauf au passage de la gaine à la tige où les deux cations alcalino-terreux baissent d'une façon égale en face du potassium, les variations du potassium s'effectuer surtout aux dépens de l'un d'eux, tandis que l'autre demeure hors de la compétition : les variations dans la feuille sont corrélatives de celles du calcium, tandis qu'elles le sont du magnésium dans l'épi femelle et ses dépendances.

Il est intéressant de considérer les effets sur cette courbe de la carence en calcium et en magnésium obtenue avec des pieds cultivés en solution coulante et approvisionnés normalement en ces deux éléments pendant un mois, mais privés de l'un ou de l'autre alors qu'ils atteignent à peine 100 g de poids frais, au moment où le besoin en ces deux éléments est le plus urgent.

				Limbes.				
Stade laiteux.		Tige.	Gaines.	Bas.	Milieu.	Haut.	Spathes et pédoncule.	Épi femelle.
Normal.	K.....	13,50	19,20	18,80	15,60	12,63	20,60	6,40
	Mg....	0,77	3,40	4,50	5,43	8,50	1,25	2,30
	Ca....	0,68	3,40	6,77	10,80	19,40	0,61	0,29
Sans calcium.	K.....	15,20	19,60	18,30	14,30	8,98	11,10	7,40
	Mg....	0,90	3,00	6,20	8,70	15,20	1,90	2,50
	Ca....	0,27	2,00	5,57	9,65	19,25	0,63	0,17
Sans magnésium.	K.....	13,90	19,40	19,80	16,35	16,60	11,40	7,00
	Mg....	0,23	0,40	1,22	1,33	2,20	0,80	2,00
	Ca....	1,22	3,80	8,04	13,20	23,70	0,93	0,27

Il n'est pas surprenant de voir les carences en un élément affecter d'autant plus les taux d'un organe que cet élément y est moins important. Dans les pieds carencés en calcium, la baisse du pourcentage de cet élément est de 1 % seulement au sommet du limbe, de 40 % dans la gaine et de 60 % dans la tige. Dans les pieds carencés en magnésium, le pourcentage de cet élément baisse de 23 % dans l'épi femelle, de 35 % dans les spathes et le pédoncule, de 70 % dans la tige et de 75 % au sommet des limbes.

Il est à remarquer que le remplacement du calcium dans les feuilles se fait surtout par le magnésium, et cette augmentation du magnésium entraîne une baisse du potassium ; la carence en magnésium fait augmenter à peu près dans les mêmes proportions le calcium et le potassium.

(1) J. Carles, L. Soubiès et R. Gadet, *C. R. Acad. Agric.*, 22 mai 1957.
(2) J. Calmès, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 292.

(Laboratoire de Physiologie végétale de l'Institut Catholique de Toulouse.)

EMBRYOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Effets d'un dérivé organique du mercure, le salyrgan, sur le développement et la détermination embryonnaire de l'œuf de l'Oursin* Paracentrotus lividus. Note (*) de M. **Roger Lallier**, transmise par M. Pierre-P. Grassé.

Le salyrgan, selon la concentration utilisée, inhibe ou ralentit le développement de l'œuf d'Oursin. Dans des conditions déterminées de traitement, le salyrgan exerce des effets animalisants. Le chlorure phénylmercurique et l'acide *p*-chloromercuribenzoïque sont dépourvus d'effets animalisants.

Le salyrgan (mersalyl) est un dérivé organique du mercure, dont la formule est

$$C_6H_4\begin{cases} CO\,NH-CH_2-CHOCH_3-CH_2-HgOH \\ O-CH_2-COONa \end{cases}$$

L'atome de mercure est situé dans une des chaînes latérales rattachées au noyau benzène. Nous décrirons les effets morphologiques du salyrgan sur le développement de l'œuf de l'Oursin *Paracentrotus lividus* et nous les comparerons à ceux d'autres dérivés organiques du mercure tels que le chlorure phénylmercurique et l'acide *p*-chloromercuribenzoïque. Nous avons utilisé un échantillon de salyrgan dépourvu de théophylline, et mis à notre disposition par la firme Farbwerke Hoechst A. G. Dans toutes ces expériences, les œufs sont traités 30 mn après la fécondation.

Les résultats essentiels sont les suivants : à la concentration 1.10^{-3} M, la segmentation est retardée dès le stade 16 blastomères et le développement ne progresse pas au-delà du stade morula. Dans les solutions 2.10^{-5} M, les embryons ne dépassent pas le stade prismatique. En diminuant encore la concentration, le développement progresse davantage et des plutei se développent dans les solutions 1.10^{-5} M mais leur taille reste inférieure à celle des plutei témoins. Le salyrgan, 2.10^{-6} M, est pratiquement dépourvu d'effets sur le développement. Les observations les plus intéressantes sont faites avec les concentrations intermédiaires, 1.10^{-4} M et 4.10^{-5} M. Dans ces expériences, nous comparerons les résultats obtenus avec des cultures permanentes et des cultures temporaires. Dans ces dernières, les embryons sont traités pendant un temps déterminé, lavés à plusieurs reprises et reportés dans l'eau de mer normale où ils poursuivent leur développement. Dans les cultures permanentes à la concentration 1.10^{-4} M, la mortalité est élevée et une partie seulement des embryons se développe en blastulas. Celles-ci présentent un épaississement ectodermique apical très accentué. On distingue nettement les cils pratiquement immobiles, enchevêtrés et rabattus contre la surface de la blastula. Laissées en présence de salyrgan, ces blastulas se lysent sans se développer davantage. Reportées dans l'eau de mer normale,

après un traitement de 21 h, elles poursuivent leur développement en donnant des cultures constituées d'embryons de différents types dont les pourcentages varient peu d'une expérience à l'autre. Dans l'une de ces cultures, par exemple, nous avons trouvé 31 % de plutei normaux de petite taille, 62 % de gastrulas avec un archentéron peu développé et présentant des signes de symétrie radiale et enfin 7 % de blastulas à ciliature très développée; l'extension de l'épaississement apical et de la touffe ciliée qui le recouvre correspond au type 3/4 selon la classification de Hörstadius [1]. Dans les cultures en présence de salyrgan 4.10^{-5} M, les blastulas ont le même aspect morphologique que précédemment, mais la mortalité est ici pratiquement nulle. Reportées dans l'eau de mer normale après un traitement de 21 h ces blastulas y poursuivent leur développement en formant des plutei de structure normale de taille légèrement inférieure à celle des témoins.

Dans ces conditions l'action du salyrgan sur le développement apparaît réversible. Nous avons recherché la possibilité de supprimer cette réversibilité en allongeant le temps de traitement. Nous avons effectivement observé, qu'après un traitement de 46 h au lieu de 21 h, par le salyrgan à la concentration 4.10^{-5} M, les embryons reportés dans l'eau de mer normale s'y développent en blastulas hyperciliées. Les cultures sont homogènes, étant formées d'embryons appartenant au même type morphologique. L'extension de la touffe ciliée apicale correspond au type 1/2 selon la classification de Hörstadius [1]; elle est donc moins accentuée qu'après un traitement de 21 h à la concentration 1.10^{-4} M, mais en revanche on l'observe chez tous les embryons. Le salyrgan apparaît donc capable dans ces conditions déterminées de provoquer l'animalisation des embryons, c'est-à-dire l'extension des tendances à la différenciation ectodermique aux dépens des tendances à la différenciation entomésodermique. Le salyrgan se caractérise en outre par une grande réversibilité de ces effets pour des traitements d'une vingtaine d'heures, aux concentrations 1.10^{-4} M et 4.10^{-5} M.

Les deux autres dérivés organiques du mercure, le chlorure phénylmercurique et l'acide *p*-chloromercuribenzoïque se montrent très toxiques. Ils inhibent le développement des œufs d'Oursin à de très faibles concentrations. C'est ainsi que la segmentation est immédiatement bloquée avec le chlorure phénylmercurique $2,5.10^{-5}$ M. Elle ne dépasse pas les stades 2 et 4 blastomères avec 5.10^{-6} M. Quelques blastulas seulement se développent dans les solutions 1.10^{-6} M, mais la plupart des embryons ne dépassent pas le stade morula. Des dilutions plus grandes 5.10^{-7} M et 1.10^{-7} M permettent le développement de pluteus de taille inférieure à celle des témoins. La toxicité du chlorure phénylmercurique est du même ordre de grandeur que celle de l'ion mercurique. L'acide *p*-chloromercuribenzoïque que nous avons étudié dans un Mémoire précédent [2] apparaît légèrement moins toxique que le chlorure phénylmercurique.

Ces deux dérivés organiques du mercure ne modifient pas la détermination embryonnaire de l'œuf d'Oursin.

Le salyrgan présente une affinité pour les groupes sulfhydriles [3]. Il inhibe les systèmes enzymatiques dont l'activité est liée à la présence de groupes sulfhydriles. Les effets du salyrgan sur les protéines contractiles du muscle ont fait l'objet de nombreux travaux. Le salyrgan inhibe notamment la polymérisation de l'actine ( ) et la formation de l'actomyosine ( ). L'activité adénosinetriphosphatasique des protéines contractiles extraites de différentes cellules est inhibée spécifiquement par le salyrgan et par la germanine [6]. La germanine est elle-même un agent animalisant très actif [7].

Le blocage des groupes sulfhydriles et l'inhibition des systèmes enzymatiques rendrait plus particulièrement compte du blocage de la segmentation et de l'inhibition du développement. A la lumière des conceptions de Ranzi ( ) sur le rôle joué par les phénomènes de polymérisation et de dépolymérisation protéiques au cours de la différenciation embryonnaire, il paraît possible de considérer que les effets du salyrgan sur les protéines contractiles jouent un rôle particulièrement important au cours des modifications expérimentales de la différenciation embryonnaire par cet agent.

(*) Séance du 9 mai 1960.

( ) S. Horstadius, *Pubb. Staz. Zool. Napoli*, 14, 1935, p. 251.
( ) R. Lallier, *Arch. Biol.*, 67, 1956, p. 181.
( ) E. J. Cafruny et A. Farah, *J. Pharmacol. exper. Therap.*, 117, 1956, p. 101.
( ) G. Kuschinsky et F. Turba, *Biochim. Biophys. Acta*, 6, 1951, p. 426.
( ) M. Bárány et K. Bárány, *Biochim. Biophys. Acta*, 35, 1959, p. 293.
( ) H. Hoffmann-Berling, *Biochim. Biophys. Acta*, 19, 1956, p. 453.
( ) R. Lallier, *Pubb. Staz. Zool. Napoli*, 30, 1957, p. 185.
( ) S. Ranzi, *Experientia*, 7, 1951, p. 169.

PHYSIOLOGIE. — *Le rétablissement de la calcémie préalablement abaissée par carence calcique. Passivité du calcium; activité du lactose.* Note de M[lle] **Yvonne Dupuis**, présentée par M. Robert Courrier.

La valeur de la calcémie du jeune Rat est préalablement abaissée par administration d'un régime hypocalcique purifié. La seule introduction de calcium dans un tel régime n'exerce aucune action sur cette valeur, alors que, en présence de lactose, on observe le retour de la calcémie à un niveau normal.

Un régime pauvre en calcium, administré à de jeunes rats, provoque des perturbations sérieuses de la calcémie et de l'ossification. L'introduction simultanée de calcium et de lactose dans un tel régime permet un retour accéléré de la calcémie à sa valeur normale, ainsi qu'une reprise de l'ostéogenèse. Tandis que, sous l'effet de la seule addition de calcium, on n'observe qu'une amélioration lente et partielle des troubles signalés (1), (2). Cette faible amélioration n'est-elle pas attribuable à des impuretés plutôt qu'au calcium du régime ? La caséine, la levure qui entrent dans la composition des régimes ne renferment-elles pas des substances actives sur l'utilisation du calcium, comme la vitamine D ou son précurseur ? Par l'emploi de principes alimentaires aussi purs que possible, nous recherchons l'effet de l'introduction dans le régime de calcium seul ou de calcium et de lactose sur la calcémie du jeune Rat soumis préalablement à un régime pauvre en calcium.

Mode opératoire. — Pendant une période préparatoire de carence d'une durée de 21 jours, 56 rats albinos, d'un poids compris entre 55 et 65 g, reçoivent un régime hypocalcique (50 mg de calcium pour 100 g). A la fin de cette période, 6 rats sont sacrifiés. Les autres animaux sont alors répartis en deux lots nommés « amidon » et « lactose » selon le caractère particulier des régimes *dont la teneur en calcium est normale.*

La composition des divers régimes fait l'objet d'un tableau.

	Composition centésimale des régimes.		
	Hypocalcique.	Amidon.	Lactose.
Amidon de blé	74	72,5	52,5
Lactose	0	0	20
Caséine purifiée (*)	15	15	15
Huile d'arachide	8	8	8
Mélange vitaminique (3)	1	1	1
Mélange salin (4)	1,5	1,5	1,5
$CaCO_3$	0	1,5	1,5
TiO_2	0,5	0,5	0,5
Acétate d'axérophtol	0,0002	0,0002	0,0002

(*) Caséine « BYLA », dite « dévitaminée trois fois ».

Les animaux de chacun des lots sont sacrifiés par groupes de 6, après

avoir reçu les régimes calciques pendant 8, 15, 30 et 42 jours. La teneur du sérum en calcium est déterminée ([3]).

Résultats. — La figure 1 représente la croissance pondérale des animaux pendant les deux périodes d'expérience. Au cours de la période de carence la croissance est faible; l'introduction de calcium dans le régime la stimule grandement. Toutefois le régime « lactose » permet une croissance nettement supérieure à celle assurée par le régime « amidon ».

La figure 2 indique les valeurs de la calcémie à la fin de la période de carence et à différents temps de la période d'administration de calcium. Sur cette figure sont également reportées les valeurs de la calcémie obtenues dans une précédente expérience, chez des animaux recevant un régime de

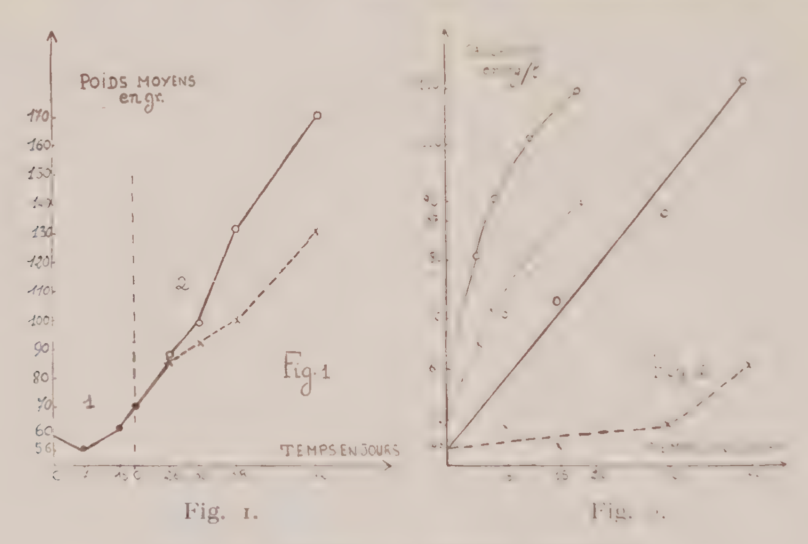


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Courbe de croissance pondérale : 1, période de carence calcique; 2, administration de calcium.

Fig. 2. — Évolution de la calcémie. Les courbes en traits épaissis correspondent à l'expérience présente; les courbes en traits atténués correspondent à une expérience antérieure réalisée avec un régime non purifié.



x-----x-----x lot « amidon »:
o——o——o lot « lactose ».

composition globale identique mais préparé avec de la caséine brute et dont les vitamines du complexe B sont apportées par la levure de bière. Dans cette précédente expérience, de plus courte durée, le régime du lot « lactose » ne contient que 12 % de lactose ([1]). Au cours de la période préparatoire de l'expérience présente, la calcémie s'abaisse pour atteindre en fin de carence la valeur moyenne de 48 mg/l (46 à 51 mg). Le régime « amidon » (dont les teneurs en calcium et en phosphore sont de 0,570 et de 0,360 %) ne permet pas aux animaux de se rétablir. En dépit de fortes quantités de calcium mises à leur disposition, le taux de calcium sérique reste stationnaire, 50 mg/l pendant 1 mois, puis amorce une légère remontée. Sur les 24 rats de ce lot, 3 meurent dans les 15 premiers jours

de la période d'administration de calcium et, sur les animaux sacrifiés en fin d'expérience, deux présentaient de nombreuses hémorragies, ainsi que des fractures osseuses et dentaires. Par contre, la calcémie des rats du lot « lactose » s'élève progressivement pour atteindre, après 1 mois de régime calcique, 90 mg/l et, en six semaines, la valeur normale de 100 mg/l.

Discussion. — Chez le Rat rendu hypocalcémique par une carence calcique préalable, le calcium, incorporé à un régime équilibré dont les constituants sont purifiés, est pratiquement sans action sur la calcémie. Ce fait semble contredire nos premières observations (1) ainsi que celles de Carlsson (6). Cet auteur attribue à l'élévation de la teneur en calcium du régime une action similaire à celle de l'administration de vitamine D, l'action du calcium et de la vitamine D étant jugée d'après la teneur en calcium du sérum. Cette activité du calcium semble pouvoir s'expliquer par la présence, en tant qu'impuretés, dans le régime que nous avons utilisé antérieurement ainsi que dans le régime à base de farine de maïs et de gluten employé par Carlsson, de substances actives sur l'utilisation du calcium.

L'action du lactose sur l'utilisation calcique revêt dans l'expérience présente un caractère spécifique déjà rencontré en d'autres circonstances. Ainsi, en 1953, Fournier met en évidence l'effet protecteur du lactose sur le squelette de la Ratte allaitante (7). Notons ainsi que Comar et ses collaborateurs, à l'aide de ^{45}Ca, après avoir observé que le calcium du lait est particulièrement bien utilisé (8) montrent que le lactose est très actif sur la rétention calcique (9).

En conclusion, deux faits se dégagent des observations relatives au rétablissement de la calcémie :

1° *la passivité du calcium.* Introduit dans un régime équilibré, le calcium seul est incapable de réparer le trouble causé préalablement par sa seule absence. Il paraît ne jouer qu'un rôle passif de présence;

2° *l'activité du lactose.* Sous l'effet de ce glucide, le calcium est utilisable.

(1) Y. Dupuis, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 1852.
(2) P. Fournier, Y. Dupuis et J. Bescol-Liversac, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2836.
(3) R. Hubbel, L. Mendel et A. Wakeman, *J. Nutr.*, 14, 1937, p. 273.
(4) J. Fischer, *Amer. J. Physiol.*, 188, 1957, p. 550.
(5) G. R. Kingsley et O. Robnett, *Amer. J. Clin. Pathol.*, 27, 1957, p. 223.
(6) A. Carlsson, *Acta Physiol. Scand.*, 31, 1954, p. 312.
(7) P. Fournier, H. Susbielle et A. Bourdeau, *J. Physiol.*, 45, 1953, p. 723.
(8) C. Comar, *Proc. Int. Conf. on Peaceful Uses of Atom. Ener.*, 12, 1956, p. 245.
(9) R. Wasserman, C. Comar et M. Nold, *J. Nutr.*, 59, 1956, p. 371.

(*Laboratoire de Physiologie de la Nutrition du C. N. R. S.
16, rue de l'Estrapade, Paris, 5e.*)

PHYSIOLOGIE. — *Exophtalmie de la Tortue d'eau* Emys leprosa *Schw. produite par la destruction de la région épiphysaire.* Note (*) de MM. **Emile Aron, Charles Combescot** et **Jacques Demaret**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Le rôle de l'épiphyse est encore mal connu. Sa destruction entraîne en clinique le développement prématuré des glandes génitales et une croissance rapide. Mais les constatations expérimentales sont très contradictoires. C'est ainsi que Rowntree inhibe, au contraire, avec des extraits de glande pinéale la croissance de jeunes rats. La même confusion se reflète dans les monographies consacrées à l'épiphyse [Gladstone et Wakeley, 1940 ([1]); Bargmann, 1943 ([2]); Thiéblot et Le Bars, 1955 ([3])]. L'épiphyse jouerait vis-à-vis des gonades un rôle antagoniste, frénateur de l'hypophyse [Engel, Rowntree, Bret et Legros ([4]), Moszkowska ([5]), Thiéblot et Martin], ou agirait en synergie hypophysaire (Fleischmann et Goldhammer, Nelson Wade), tandis que Tartaglia reconnaît à l'épiphyse un rôle d'équilibre sur le système hypothalamo-hypophysaire.

Cette Note se bornera à signaler l'exophtalmie spectaculaire que nous avons obtenue après destruction ou ablation de la région épiphysaire chez la Tortue d'eau *Emys leprosa* Schw. L'implantation de lyophilisat d'épiphyses de Mammifères a fait, d'autre part, disparaître cette protrusion oculaire.

Nous avons utilisé la technique suivante :

De novembre 1959 à mai 1960, seize femelles et sept mâles ont été expérimentés. Après avoir réséqué les téguments, nous ouvrons à la fraise de dentiste un volet dans la voûte crânienne. La dure-mère est incisée et le liquide céphalo-rachidien s'écoule. Une légère hémorragie peut survenir; nous l'arrêtons par un tampon de coton imbibé d'une solution d'adrénaline au millième. La région épiphysaire est cautérisée à l'aide d'une pointe de galvano-cautère, modifiée par nos soins. Chez d'autres tortues, nous pratiquons l'ablation à la curette de la région épiphysaire. Après l'intervention, nous déposons un volet de « plexiglas » au niveau de l'orifice osseux. Ce volet est maintenu en place par une colle adhésive plastique.

Dès la fin du premier mois qui suit l'opération, les yeux de quelques tortues font nettement saillie en dehors de l'orbite; deux mois après l'intervention, l'exophtalmie est manifeste chez seize tortues sur vingt-trois.

Sur l'ensemble des tortues opérées, treize décédèrent trois mois environ après l'intervention. Huit portaient une forte exophtalmie, et cinq avaient des yeux peu saillants ou aucune exophtalmie. Les dix autres animaux, dont huit étaient exophtalmiques, ont été sacrifiés en mars et au début de mai 1960, ainsi que des témoins normaux et des témoins craniectomisés, dont nous avions volontairement respecté la région épiphysaire. Chez les

animaux sans épiphyse, l'examen de la région cautérisée montre une zone de nécrose, dissociable à la pince, recouvrant un tissu cicatriciel très sain.

Cinq tortues présentant une forte exophtalmie reçurent, en une seule implantation au niveau de la cuisse, 50 cg d'un lyophilisat d'épiphyses de Mammifères. En moins de 10 jours, les globes oculaires avaient repris leur place. Les animaux ainsi traités ne pouvaient pas alors être différenciés des témoins normaux.



A. B.

A. Tortue normale femelle.
B. Tortue femelle 64 jours après l'épiphysectomie.
Noter la protrusion des globes oculaires.

L'examen anatomique de la région rétro-orbitaire des tortues présentant de l'exophtalmie, de celles traitées par le lyophilisat d'épiphyses et des témoins, ne nous a pas permis de déceler de différences.

En résumé, la destruction de la région épiphysaire entraîne, chez la Tortue, dans une proportion importante, une exophtalmie bilatérale, qui régresse par opothérapie. Cette Note préliminaire ne préjuge pas de nos recherches en cours, qui tendent à préciser le rôle de l'épiphyse dans la genèse des exophtalmies.

(*) Séance du 20 avril 1960.

(1) R. J. GLADSTONE et C. P. G. WAKELEY, *The pineal organ*, 1940, Baillière, Tindall et Cox, Londres.

(2) W. BARGMANN, *Anat. des Menschen*, 6, n° 4, 1943, p. 309-502.

(3) L. THIEBLOT et H. LE BARS, *La glande pinéale ou épiphyse* (*Anatomie, histologie, physiologie, clinique*), Maloine, Paris, 1955, 203 pages.

(4) A. J. BRET et R. LEGROS, *Presse Médicale*, 67, 1959, p. 13.

(5) A. MOSZKOWSKA, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3685; 247, 1958, p. 1659.

PHYSIOLOGIE. — *Poids et délai de survie des larves nouveau-nées chez les Acridiens migrateurs. Données physiologiques.* Note de (*) MM. **Frédéric O. Albrecht** et **Robert E. Blackith**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Il résulte de travaux récents sur les Acridiens migrateurs que les larves nouveau-nées issues de parents groupés diffèrent de celles qui sont issues de parents solitaires par un poids plus élevé et un nombre moindre d'ovarioles. D'une manière générale, le poids de la larve femelle à l'éclosion est d'autant plus élevé que le nombre des ovarioles est plus petit ([1]), ([2]), ([3]).

Nous avons suggéré, sans connaître de façon précise la signification physiologique de ces différences pondérales, que les *gregaria* transmettent, par l'œuf, un potentiel de mobilité, les *solitaria* un potentiel de fertilité. On sait, d'autre part, qu'à la végétation normalement luxuriante de l'habitat solitaire pendant la période de croissance larvaire s'oppose, le plus souvent, la végétation parsemée et d'accès plus difficile de l'aire d'invasion des grégaires ([4]).

D'autre part, on a pu observer que la mortalité des Acridiens est la plus élevée pendant les premiers âges larvaires ([5]).

Il y avait donc lieu de rechercher, dans le cadre de nos études sur les causes des fluctuations d'effectifs chez les Acridiens, si les larves nouveau-nées de poids élevé, issues de parents groupés, résistaient mieux à des conditions de vie plus difficiles.

Le travail a porté sur les larves nouveau-nées de *Schistocerca gregaria* (Forsk.), *Nomadacris septemfasciata* (Serv.) et *Locusta migratoria migratorioides* (R. et F.).

Dans les 2 ou 3 h suivant l'éclosion, les larves d'une même oothèque sont pesées individuellement avec une approximation de 0,1 mg et sont ensuite divisées en trois lots. Le premier lot est immédiatement desséché dans une étuve à 70° C. Les larves de chacun des deux autres lots sont maintenues à jeun dans une étuve à 30° C, soit à 35 % d'humidité relative, soit à 100 % d'humidité relative. Les délais de survie individuels sont notés et les larves sont à nouveau pesées au moment de leur mort. Les cadavres sont desséchés comme ci-dessus. Les données chimiques correspondant aux trois lots sont comparées entre elles (*voir* publication ultérieure).

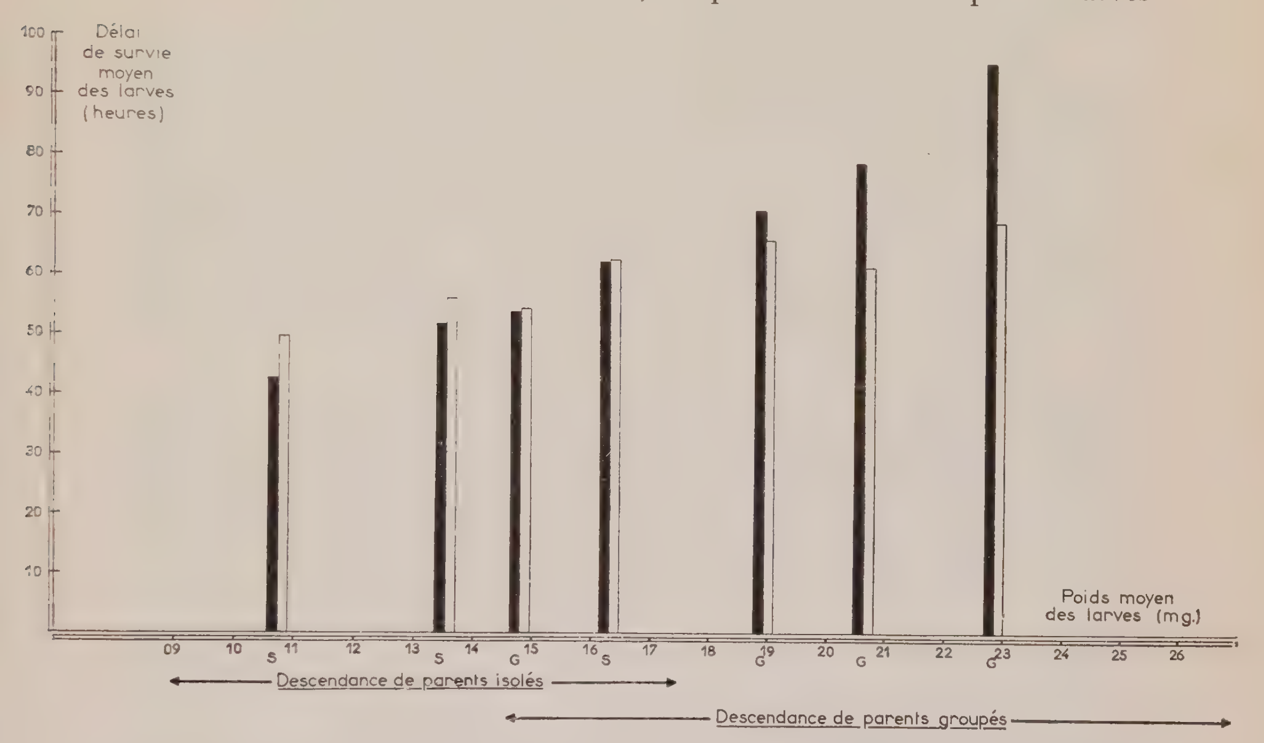
Chez les trois espèces citées ici, le délai de survie des larves maintenues à jeun est directement proportionnel à leur poids à l'éclosion.

Dans une atmosphère sèche (35 % d'humidité relative) et à 30° C, ce délai est de moyenne de 100 h pour l'ensemble des larves issues d'une ponte en grégaire, le poids moyen étant supérieur à 20 mg; il n'est que de 40 h pour la descendance d'une femelle solitaire, le poids moyen des larves ne dépassant pas 10 mg. Les poids et les taux de survie des larves

peuvent donc varier presque du simple au triple, suivant que les parents ont été maintenus isolés ou groupés.

Ce rapport entre le poids et le délai de survie existe également chez les larves de poids différents issues d'une *même* oothèque.

Lorsque, chez les trois espèces, les larves de poids faible sont maintenues à la même température, mais à 100 % d'humidité relative, leur survie est prolongée de 10 h environ, ce qui revient à dire que les larves



Schistocerca: Délai de survie à 30° C des larves nouveau-nées provenant de parents isolés et groupés. Pour chacune des pontes, ces délais sont représentés par une colonne noire (lot des larves maintenues à 35 % d'humidité relative) et une colonne blanche (lot des larves maintenues à 100 % d'humidité relative).

de provenance solitaire sont mieux adaptées à une humidité élevée. Mais l'on observe des différences spécifiques importantes pour les larves *de filiation grégaire*. Pour *Schistocerca*, les larves sont mieux adaptées à un habitat sec puisque leur délai de survie, qui atteint 100 h à 35 % d'humidité relative, tombe approximativement à 70 h à 100 % d'humidité relative. Par contre, chez *Nomadacris*, la phase grégaire se trouve avantagée par un degré hygrométrique élevé : le potentiel de survie peut être prolongé de 20 h. Le cas de *Locusta* est intermédiaire : les plus grosses larves survivent quelques heures de moins à 100 % d'humidité relative.

Ces différences de vitalité sont à rapprocher des conditions écologiques dans lesquelles vivent les Acridiens. Alors que la phase solitaire ou « végétative » se déplace dans un milieu humide ou marécageux (aires grégari-

gènes : *Nomadacris*, *Locusta*, nos observations montrent que les jeunes larves issues de parents solitaires supportent mieux un degré hygrométrique élevé. D'autre part, le groupement des parents dans l'aire d'invasion aboutit à l'éclosion de larves qui survivent plus longtemps que les larves d'origine solitaire dans des conditions moins favorables. Il y a lieu d'insister sur la résistance à l'humidité plus faible des jeunes larves grégaires de *Schistocerca*, criquet des régions désertiques, et plus grande des larves de *Nomadacris*, criquet des régions marécageuses.

Il résulte de cette étude et de nos travaux précédents que lorsque les conditions de milieu ne permettent pas le maintien de la population sans changement de densité, le fonctionnement ovarien agit dans le sens d'une plus grande diversité de taille des larves à l'éclosion; cette diversité des larves (forme *transiens*) assure, quelle que soit l'évolution des conditions du milieu, la survie d'une partie des individus. Cet état de choses est particulièrement remarquable chez *Schistocerca*, où tout cycle ovarien peut produire une minorité de larves du type « phasaire » diamétralement opposé à celui des parents.

Cette diversité des larves représente un facteur d'adaptation à des conditions de milieu diverses, une certaine mortalité larvaire en étant la rançon. Comme nous l'avions déjà fait remarquer ([6]), à côté de ce polymorphisme conditionné par l'ensemble des facteurs externes ayant agi sur les parents, un polymorphisme d'origine génétique est, dans d'autres espèces, en rapport avec le mécanisme homéostatique ([7]), ([8]).

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) F. O. Albrecht, M. Verdier et R. E. Blackith, *Bull. Biol. France et Belgique*, 4, 1958, p. 349.

([2]) F. O. Albrecht, *Bull. Biol. France et Belgique*, 4, 1959, p. 414.

([3]) M. Papillon, *Bull. Biol. France et Belgique*, 2, 1960.

([4]) J. S. Kennedy, *Biol. Rev.*, 31, 1956, p. 349.

([5]) O. W. Richards et N. Waloff, *Anti-Locust Bull. Lond.*, n° 17, 1954.

([6]) F. O. Albrecht et R. E. Blackith, *Evolution*, U. S. A., 11, 1957, p. 166.

([7]) I. M. Lerner, *Genetic Homeostasis*, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1954.

([8]) M. J. D. White, *Animal Cytology and Evolution*, Cambridge University Press, 1954.

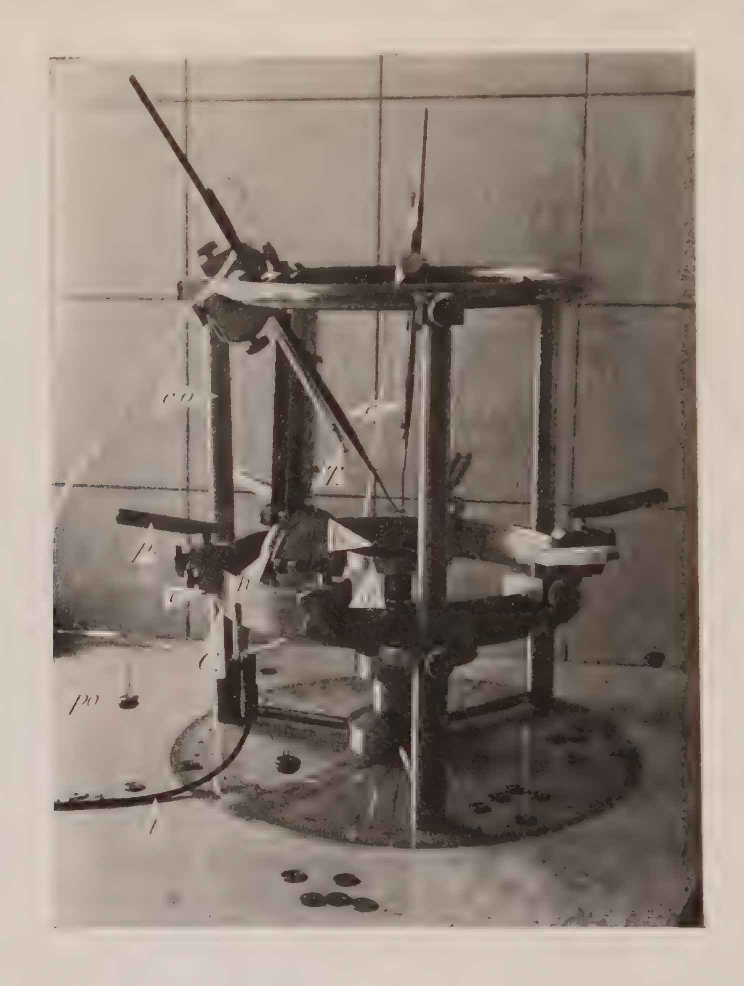
PHYSIOLOGIE CARDIAQUE. — *Prolégomènes à l'extensométrie cardiaque expérimentale.* Note de M. **Boris Rybak**, transmise par M. François de Gaudart d'Allaines.

La contraction automatique du cœur exige une certaine catalyse mécanique [1], soit que celle-ci relève du remplissage cardiaque par le sang ou un liquide physiologique perfuseur avec distension des fibres [2], soit qu'elle relève de l'agitation du milieu dans lequel est plongé le cœur [3] ou de la traction établie sur cœur ouvert ou intact [4]. Or, dans le cas du cœur ouvert particulièrement — c'est-à-dire dans le cas du passage d'une surface fermée à une surface ouverte — les tractions exercées sur les préparations n'ont pas été formulées quantitativement. Un extensomètre à charge constante a été construit (cliché I, échelle 1/2 environ) dans le but de définir les efforts nécessaires ou excessifs au niveau cardiaque.

Charge totale (mg).	Dimensions de la préparation (mm). Longueur totale.	Longueur auriculaire maximale.	Longueur ventriculaire maximale.	Largeur auriculaire maximale.	Largeur ventriculaire maximale.
6 × 10	9,5	4,5	5	8	8
6 × 60	10,5	5,5	5	8	8
6 × 120	12	7	5	9	8
6 × 810	14	9	5	11	9
6 × 1 000	16	10	6	13	10
6 × 3 000	18	11	7	15	11
6 × 5 000	19	12	7	16	12

Il s'agit d'un support cylindrique en acier inoxydable constitué par six potences (*p*) orientables chacune à 360° dans le plan horizontal, montées sur six curseurs (*c*) mobiles le long d'un cadran gradué en angles, l'ensemble constituant ainsi une sorte d'alidade. Au centre un support (*s*), solidaire par sa base du reste de l'appareil et dont la hauteur est facilement modifiable par vissage ou dévissage, permet de disposer le bloc de paraffine noircie dans la masse (*b*) sur lequel la préparation cardiaque repose. Pour l'instant seuls des cœurs *in toto* ou des fragments de cœur intacts ou ouverts d'animaux poïkilothermes (Myxine, Grenouille, Tortue grecque) ont été étudiés avec ce nouvel appareil qui : 1° autorise l'investigation avec une entité cardiaque reposant par une de ses faces sur la paraffine et qui 2° ouvre la voie d'une nouvelle manière de maintenir une entité cardiaque en contractions spontanées prolongées, à savoir *en supension horizontale*, c'est-à-dire de telle sorte que la préparation est complètement soulevée, soutenue seulement par les charges (*po*). L'avantage *princeps* du montage en suspension est qu'il permet d'accéder dans *tous* les axes et plans à la connaissance endocardique et épicardique du système considéré (analyse en

dérivation transpariétale notamment comme je le montrerai ailleurs). La fixation de la préparation se fait à l'aide de petits hameçons prolongés par des fils de nylon auxquels sont appendues des charges. Celles-ci, pour un cœur total, sont au nombre de six et on les applique généralement



selon des angles égaux de 60°; chacun des six attelages hameçon-fil ayant été choisi d'un poids de 10 à 25 mg pour le cœur de Grenouille, l'étude gravimétrique peut aller de ces poids à 11 g et c'est finalement des charges totales allant de 60 mg à 66 g qui sont applicables à la préparation cardiaque. Un hygromètre à cheveu (h) donne le pourcentage d'humidité près de cette préparation qui, en suspension, est imbibée à intervalles réguliers par des volumes identiques de la solution physiologique choisie et l'on entrecoupe ces imbibitions de rinçages abondants et fréquents destinés à limiter la concentration saline par évaporation, tandis que dans le montage sur paraffine, la préparation est plongée généralement dans un volume défini de solution physiologique et de telle façon, pour certains volumes, qu'elle soit entre deux eaux afin de limiter les frottements, faibles d'ailleurs, entre la paraffine et le plan cardiaque qui lui fait face. Un thermomètre (T),

dont le réservoir est voisin du myocarde, fournit la température de l'ambiance. Pour la détection ou la stimulation électriques des colonnettes (*co*) solidaires de l'alidade supportent à leur sommet un cercle sur lequel peuvent se déplacer des noix de fixation auxquelles sont adaptées des électrodes (*c*); l'ensemble de l'extensomètre est mis à la terre (*t*).

Les résultats dont il sera fait état ici sont extraits uniquement de l'analyse du cœur entier de Grenouille.

1. *Modifications dimensionnelles :* Soit un cœur ouvert et fonctionnel pesant 96 mg poids humide, âgé de 1 h, reposant sur la paraffine dans 0,5 ml de solution de Ringer; 21,5° C; 47 % d'humidité (tableau) :

a. l'extensibilité auriculaire est plus grande que l'extensibilité ventriculaire;

b. dans le ventricule l'extensibilité longitudinale est *plus grande que* l'extensibilité latitudale.

2. La *catalyse mécanique par traction* ressortit désormais à l'étude quantitative. Par exemple pour un cœur de 75 mg soumis à 6×10 mg de charge, en 27 mm à 20° C la fréquence contractile a diminué de moitié mais il suffit de porter la charge à 6×60 mg pour qu'en 28 mn elle se fixe au rythme initial (soit 54 battements/mn). Lorsque les charges croissantes sont appliquées sans une certaine latence sous une charge insensible, il faut généralement des charges de 6×100 mg à 6×200 mg pour stabiliser le rythme; on définit ainsi des *charges critiques de rythme.*

3. *La structure des trains de potentiels* ne se modifie pas considérablement tant qu'on reste dans une zone de réversibilité; autrement dit *pour des charges faibles*, le passage d'une charge critique établissant le rythme stabilisé à une charge croissante et le passage de retour à la charge initiale se fait sans hystérésis marquée, les tracés ayant sensiblement la même allure. Par contre à partir d'une certaine surcharge, par exemple pour 6×3 g, l'amplitude des déflexions de chaque train d'ondes diminue tandis que l'intensité de la contraction s'atténue; c'est alors *la charge critique d'amplitude.* La morphologie des trains de potentiels peut être suivie systématiquement dans diverses conditions de charges.

La charge critique de rythme confirme et étend les résultats de Pathak [4] obtenus sur cœur de Grenouille par voie hydrostatique; la charge critique d'amplitude correspond à un cœur hypodyname. Les problèmes de la physiologie cardiaque sont désormais posés en termes quantitatifs de résistance des matériaux.

(1) B. Rybak, *A medicina contemporanea*, Lisboa, 76, 1958, p. 295.
(2) E. H. Starling, *The law of the heart. Linacre Lecture*, London, 1918.
(3) B. Rybak, *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 1411.
(4) C. L. Pathak, *Amer. J. Physiol.*, 192, 1958, p. 111.

(Zoophysiologie, Faculté des Sciences, Caen.)

ENDOCRINOLOGIE. — *Modification de la sensibilité des follicules ovariques à la gonadostimuline après hypophysectomie chez la Ratte adulte.* Note de MM. **Claude Aron** et **Léopold Asch**, présentée par M. Robert Courrier.

Des expériences menées chez des rattes adultes hypophysectomisées depuis 6 à 24 jours montrent que la sensibilité des follicules ovariques à la gonadostimuline décroît considérablement chez la ratte hypophysoprive.

Nous avons montré, en des travaux antérieurs, l'importance de facteurs intrinsèques, d'origine ovarienne, dans le déterminisme de la lutéinisation et, notamment, le rôle joué par l'état évolutif des ovisacs dans leur aptitude à subir la transformation lutéinique [(1) à (7)].

Il nous est apparu, en effet, précisant ainsi les observations faites par Saunders et Cole (1936) chez des rattes de 15 à 25 jours (8), que la sensibilité des follicules ovariques à la gonadostimuline s'accroissait chez la ratte avec l'âge des animaux au cours de la prématurité sexuelle. En outre, nous avons constaté que la sensibilité des ovisacs augmentait encore avec l'avènement de la maturité sexuelle et, enfin, qu'elle s'accroissait, au cours du cycle œstral, de façon statistiquement significative, du 1er au 2e jour de cycles de 4 jours.

Aussi nous sommes-nous demandé si, chez la Ratte hypophysectomisée dont l'évolution folliculaire n'excède pas le stade d'ovisacs secondaires de très petit diamètre, nous n'observerions pas une diminution de la sensibilité des follicules ovariques à la gonadostimuline par rapport à celle offerte, non seulement par des rattes adultes entières, mais même par des rattes prématures de 40 à 60 g. Car, chez celles-ci et celles-là, l'hormone gonadotrope agit évidemment sur des follicules ayant atteint un état de développement beaucoup plus avancé que chez l'animal hypophysectomisé.

Conduites des expériences. — Des rattes adultes de souche Wistar, pesant de 140 à 190 g, ont été hypophysectomisées et sacrifiées de 6 à 24 jours après l'opération. Seuls ont été retenus, évidemment, les résultats enregistrés chez les animaux ne présentant à l'autopsie aucun reste hypophysaire.

11 rattes ont servi de témoins; 28 autres ont reçu, de 6 à 23 jours après l'ablation de l'hypophyse, une dose unique d'extrait de préhypophyse fraîche de Bœuf administrée par la voie sous-cutanée. Les quantités de préhypophyse injectées ont été de 125 mg (11 animaux), 250 mg (8 animaux) et 500 mg (9 animaux).

En tous les cas les ovaires ont été débités en coupes sériées, colorés à l'hématoxyline-éosine et soumis à un examen histologique.

Résultats expérimentaux. — Il importe tout d'abord de souligner que l'image offerte par l'ovaire des animaux hypophysectomisés-témoins n'a

pas différé sensiblement d'un animal à l'autre, que le sacrifice ait été pratiqué de 6 à 12 jours ou de 15 à 24 jours après l'hypophysectomie.

En 9 cas sur 11, on effet, le diamètre des ovisacs n'excédait pas 300 μ. En deux cas, il atteignait 350 μ.

On notera ensuite, comme le révèle le tableau ci-dessous, que les injections de doses d'extrait préhypophysaire allant de 125 à 500 mg n'ont provoqué dans l'ensemble des cas, quel qu'ait été d'ailleurs, dans les limites de nos expériences, le délai écoulé après l'hypophysectomie, et comparativement à l'aspect présenté par les rattes non traitées et hypophysectomisées, qu'une faible croissance folliculaire, et qu'exceptionnellement seulement elles ont abouti à la formation de corps jaunes à ovule inclus au tout début de leur développement et n'excédant pas un diamètre de 600 μ.

Tailles folliculaires maximales.	Doses d'extrait préhypophysaire. 125 mg.	250 mg.	500 mg.
Follicules de 300 à 400 μ	3 cas	2 cas	3 cas
» 400 à 450 μ	5 »	4 »	2 »
» 450 à 500 μ	2 »	1 »	2 »
» 500 à 600 μ	1 »	1 »	2 »
Corps jaunes à ovule inclus	1 »	–	1 »

Discussion des résultats et conclusion. — Si l'on se réfère aux effets de la gonadostimuline que nous avons notés chez des rattes adultes entières, soumises le 1er jour du cycle à l'action de doses de 125 à 250 mg d'extrait préhypophysaire [9], on constate que la sensibilité des ovisacs à l'hormone gonadotrope décroît de façon considérable chez la Ratte mûre à la suite de l'hypophysectomie.

Chez la Ratte entière, en effet, les doses ci-dessus notées ont provoqué la formation, soit de corps jaunes post-ovulatoires, soit de corps jaunes à ovule inclus chez chacun des 19 animaux traités alors que chez la Ratte hypophysectomisée on n'a observé qu'un effet discret de croissance folliculaire pour des doses égales ou supérieures d'extrait et, exceptionnellement seulement, des phénomènes de lutéinisation portant sur des ovisacs encore peu développés.

Il apparaît donc, conformément à nos observations antérieures, que la réponse de l'ovaire à la gonadostimuline est conditionnée par l'état de développement des ovisacs au moment où ils subissent l'action de cette hormone et que l'interprétation des résultats enregistrés chez l'animal hypophysectomisé, en matière de physiologie ovarienne, doit tenir compte d'une profonde modification, dans le sens d'une forte diminution, de la sensibilité folliculaire à la gonadostimuline.

La ratte adulte se comporte donc, de ce point de vue, comme la ratte prématurée chez laquelle, selon Williams [10], [11], l'ovaire perd, dès le 7e jour qui suit l'hypophysectomie, la faculté de réagir par des pontes ovulaires à l'administration de sérum de jument gravide.

(1) Cl. Aron et L. Asch, *C. R. Ass. Anat.*, n° 89, 1956, p. 204.
(2) Cl. Aron et L. Asch, *C. R. Soc. Biol.*, 149, 1955, p. 2240.
(3) Cl. Aron et L. Asch, *C. R. Soc. Biol.*, 150, 1956, p. 418.
(4) Cl. Aron, R. Gandar et L. Asch, *C. R. Soc. Biol.*, 151, 1957, p. 595.
(5) Cl. Aron, L. Asch et R. Gandar, *Ann. Endocrinol.*, 19, 1958, p. 603.
(6) Cl. Aron, L. Asch et R. Gandar, *C. R. Soc. Biol.*, 152, 1958, p. 644.
(7) Cl. Aron et L. Asch, *Arch. Anat. micr. Morphol. exp.* (sous presse).
(8) F. J. Saunders et H. H. Cole, *Proc. Soc. Exp. Biol. med.*, 33, 1936, p. 504.
(9) Cl. Aron et L. Asch, *loc. cit.*
(10) P. C. Williams, *J. Endocrinol.*, 4, 1944-1946, p. 127.
(11) P. C. Williams, *Ciba Foundation Colloq. on ageing.*, 2, 1956, p. 59.

(*Institut d'Histologie de la Faculté de Médecine de Strasbourg.*)

BIOLOGIE. — *Sur une lignée hypodactyle chez le Rat albinos.* Note de MM. **Michel Saboubdy** et **Branko Bozić**, présentée par M. Robert Courrier.

Une femelle hypodactyle, apparue dans notre souche de Rat Wistar (WG), accouplée à un frère à phénotype normal, a été à l'origine d'une lignée nouvelle, caractérisée par l'apparition constante, à travers les générations, d'individus atteints de la même anomalie. Le recensement de la descendance de 35 femelles de cette lignée, normales ou aberrantes, a montré qu'environ 18 % d'animaux sont hypodactyles. La lignée, actuellement à sa 7ᵉ génération, ne peut être maintenue qu'en hétérozygotie, les mâles phénotypiquement aberrants étant complètement stériles. L'étude de cette mutation, intéressante du point de vue évolutif, dont la brève description est contenue dans cette Note préliminaire, nous a paru être d'un intérêt certain.

L'hypodactylie (ou ectrodactylie) caractéristique se traduit par un état tridactyle des quatre extrémités. Au pied, le pouce a son aspect habituel, avec un métatarsien très raccourci; le doigt moyen semble correspondre au 3ᵉ doigt du pied normal, mais avec un métatarsien sensiblement plus court et dont l'épiphyse proximale, très élargie, porte parfois, du côté du pouce, un processus spiniforme, vestige probable de l'index disparu. Le métatarsien du petit doigt garde sa position et son aspect, sans être raccourci. La main est plus uniformément modifiée. Le trait dominant de chaque membre, c'est le très fort raccourcissement de la partie distale par rapport aux os longs. L'étude anatomique détaillée ne permet de constater qu'une légère fluctuation dans le degré et le sens de la coalescence des distaux du carpe et du tarse, les premiers variant de 2 à 4, les seconds de 3 à 4 éléments. Mais le trait saillant et fondamental, le nombre des doigts, reste pratiquement constant : sur 117 individus hypodactyles, 6 seulement s'écartaient légèrement du type tridactyle « normal » (un cas de réduction à quatre doigts aux mains avec pentadactylie et syndactylie partielle aux pieds, quelques cas à deux doigts à l'une des mains, etc.). Par la suite est encore apparu un cas, franchement intermédiaire, avec des extrémités à quatre doigts.

La malformation des membres s'accompagne, chez certains individus, d'une déviation du museau, mutation déjà connue chez la Souris (Keeler, « twisted nose ») [1]; elle se manifeste chez environ la moitié des animaux hypodactyles, avec une expressivité très variable.

D'autres petites anomalies, concernant la colonne vertébrale, étudiées chez la Souris et dont les facteurs génétiques responsables ne sont pas bien connus, se rencontrent également dans notre lignée (soudures entre vertèbres, dystopies, foramen imperfectum, absence de canal artériel). Les soudures sont fréquentes au niveau cervical (axis + 3ᵉ vertèbre

cervicale), mais il n'y a pas de sacralisation anormale ni des variations dans le nombre des autres vertèbres (caudales exceptées), contrairement à ce qui a été observé chez la Souris. Il ne semble pas que ces malformations soient liées aux facteurs qui déterminent le caractère principal de la lignée, car on les retrouve également dans d'autres souches. Par contre, des déficiences sur le plan physiologique ou histologique (croissance générale ralentie, croissance des incisives exagérée, azoospermie, sensibilité à l'anesthésie) frappent régulièrement les animaux aberrants.

Les malformations congénitales des membres à déterminisme génétique sont connues surtout chez la Souris (oligodactylie expérimentale, syndactylie, hypodactylie, polydactylie) où elles présentent toujours une grande variabilité d'un individu à l'autre, les quatre membres n'étant non plus atteints de la même manière. Chez nos rats, par contre, ce qui frappe en premier lieu, c'est la réduction à trois doigts à partir d'un état pendactyle normal. Cette mutation s'apparente le plus à la mutation recessive oligodactyle (o), obtenue chez la Souris par P. Hertwig [2] par irradiation, mais dans ce cas, l'irrégularité dans les modalités d'expression de la malformation était encore importantes, malgré une symétrie habituelle, avec des différences entre les membres antérieurs et postérieurs. Il est probable qu'une relation doit exister entre le caractère morphologiquement tranché de la mutation décrite et la plus grande uniformité génétique du Rat par rapport à la Souris.

La régularité qui se manifeste dans ces phénomènes de réduction, soulève la question de la nature du processus qui modifie la morphogénèse normale. Des nombreuses malformations des membres ont été expliquées par l'action d'un liquide qui se concentre aux extrémités sous forme de « bulles », provoquant le plus souvent des épanchements sanguins et qui altèrent les processus morphogénétiques. D'après certains auteurs (Bonnevie) [3], il s'agirait du liquide cérébrospinal qui, produit en excès, s'infiltrerait le long des membres. D'autres auteurs ont fait connaître des actions tératogènes d'origine humorale (Jost) [4]. Sans qu'il soit encore possible d'affirmer quoi que ce soit dans ce cas concret, on peut raisonnablement douter que des effets symétriques et réguliers puissent être exclusivement produits par les mêmes facteurs qui, ailleurs, provoquent des perturbations imprévisibles et capricieuses; d'autre part, l'examen macroscopique de nouveau-nés ainsi que des embryons avancés ne nous a jamais montré des renflements ni des lésions quelconques. Une action des processus de même nature que ceux qui sont à l'œuvre dans un développement normal nous semble plus plausible.

(1) *Proc. Nat. Acad. Sc.*, Washington, 15, 1929, p. 838-839.

(2) *Proc. VII Internat. Genet. Congr.*, 1941, p. 145-146.

(3) *J. exp. Zool.*, 67, 1934, *p.* 443-520.

(4) *Arch. franç. Pédiat.*, 10, 1953, *p.* 865-870.

(*Centre de Sélection des Animaux de Laboratoire, C. N. R. S., Gif-sur-Yvette.*)

BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Sur la régénération des antennes de l'Isopode* Idotea baltica (*Aud.*). Note (*) de Mlle **Jacqueline Varèse**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

L'extirpation totale d'une antennule ou d'une antenne avec une portion plus ou moins étendue des téguments voisins, même accompagnée de l'ablation d'une partie du système nerveux central, étant presque toujours suivie d'une régénération normale [1], on est conduit à rejeter, pour les appendices du Crustacé *Idotea baltica*, la notion de « territoires de régénération » limités à propriétés morphogénétiques spécifiques et à envisager leur régénération comme impliquant une nouvelle détermination dans un épiderme cicatriciel non spécifique. Afin de préciser les conditions de cette détermination, j'ai étudié la régénération après ablation de portions de la paroi céphalique englobant plusieurs des quatre appendices et pouvant chevaucher le plan sagittal. Les animaux ont toujours été opérés après une mue et j'ai observé de deux à cinq mues post-opératoires.

A. *Antennules et front.* — 1° L'ablation d'une antennule avec la portion de front comprise entre les deux antennules n'est suivie de régénération que dans 40 % des cas.

2° L'ablation des deux antennules avec la région comprise entre les deux ne provoque qu'une cicatrisation dans 85 % des cas. Dans les autres cas, on obtient une antennule ou deux antennules soudées par leur article basal, mais jamais de régénération normale.

3° Le résultat est tout différent si l'on enlève en outre le processus frontal. La régénération est alors normale dans 40 % des cas et l'on observe les anomalies suivantes : absence de régénération, régénération d'une seule antennule, de deux antennules soudées, régénération de trois et même de quatre antennules. Enfin, j'ai observé dans un cas la régénération des deux antennules avec une antenne supplémentaire située à proximité de l'antenne normale d'un côté du corps.

4° L'extirpation du front seul, les antennules restant intactes, détermine, dans 10 % des cas, le développement, sur l'emplacement de la surface extirpée, d'une ou de deux antennules supplémentaires, phénomène comparable à l'homœose substitutive.

Dans toutes ces expériences, les antennules occupant une position médiane ou sub-médiane peuvent être droites ou gauches, mais j'ai observé dans certains cas des appendices à symétrie bilatérale sans latéralité. D'autre part, lorsqu'il apparaît deux antennules supplémentaires après ablation du front, l'antennule située à droite est gauche et réciproquement : chaque organe supplémentaire est symétrique de l'organe normal voisin par rapport au plan qui les sépare.

La détermination antennulaire est donc possible dans toute une région

chevauchant le plan sagittal et dans laquelle la zone médiane du processus frontal semble jouer un rôle prépondérant. Le nombre des organes reproduits est très variable et la symétrie bilatérale n'est souvent pas rétablie. Ajoutons que les interventions peuvent déterminer l'apparition de malformations dans le clypeus et le labre non directement touchés, malformations qui régressent par la suite.

B. *Antennules et antennes.* — 5° L'extirpation simultanée de l'antennule et de l'antenne d'un côté du corps est suivie, dans 60 % des cas, d'une régénération normale mais fournit également diverses anomalies : régénération de l'antennule seule, de l'antenne seule, régénération de deux antennules, d'une antennule et d'une antenne soudées par leur article basal.

6° L'extirpation simultanée d'une antenne et des deux antennules n'est suivie de régénération normale que dans le tiers des cas. Les anomalies observées sont l'absence totale de régénération, la régénération de l'antenne et d'une seule antennule, la régénération de l'antenne seule.

7° L'extirpation simultanée des quatre appendices avec le front n'est que rarement suivie d'une régénération normale. Dans tous les cas, cependant, il y a régénération des deux antennes.

Dans les cas où l'antenne est extirpée, on observe souvent une hypertrophie compensatrice durable de la joue voisine non intéressée par l'intervention.

Ces résultats sont remarquables par la proportion inaccoutumée (environ 50 %) des anomalies portant sur le nombre et la nature des organes régénérés et, notamment, des organes surnuméraires (5 % des opérés). La diversité des résultats, le développement d'antennes typiques à l'emplacement des antennules normales et le développement d'antennules à l'emplacement des antennes confirment l'absence de « territoires de régénération » antennulaire et antennaire à propriétés morphogénétiques définitivement fixées et à limites définies. On n'observe pas, cependant, d'organes morphologiquement intermédiaires entre les deux types d'appendice. La régénération implique une nouvelle distribution des propriétés morphogénétiques qui s'effectue sur l'ensemble d'un territoire céphalique englobant au moins les quatre appendices avec les régions voisines.

En résumé, l'ablation de portions de tégument céphalique englobant plusieurs antennules ou antennes est fréquemment suivie de régénérations anormales par le nombre et la nature des appendices, qui excluent l'hypothèse de « territoires de régénération » distincts pour chaque appendice. La partie ventrale du front peut être remplacée par des antennules supplémentaires.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) M. Bossuat, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2530.

BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Mise en évidence anatomique et expérimentale des glandes androgènes de* Sphæroma serratum *Fabricius* (*Isopode, Flabellifère*). Note (*) de MM. **Jean-Jacques Legrand** et **Pierre Juchault**, transmise par M. Albert Vandel.

Le cordon cellulaire accolé à la vésicule séminale, au niveau du Ve segment thoracique de *Sphæroma serratum*, décrit auparavant sous le nom « d'oviducte vestigial », est une glande androgène. Il existe une autre glande androgène, accolée aussi à la vésicule séminale, et située au niveau du VIe segment thoracique. L'implantation chez une ♀, de ces deux amas provoque l'apparition des caractères sexuels externes mâles.

L'examen de l'appareil génital de *Sphæroma serratum* effectué par dissection et montage *in toto* des gonades et complété par l'étude histologique sur des coupes sériées a montré l'existence d'un cordon cellulaire s'insérant par une base bifide sur la vésicule séminale, du côté externe au niveau du Ve segment thoracique.

Leichmann [1] chez une espèce voisine : *Sphæroma rugicauda* (Leach) avait déjà décrit une formation semblable. Plus récemment, Mlle Pigeault [2] chez *Sphæroma serratum* a considéré ce cordon cellulaire comme la persistance d'un oviducte vestigial. L'analogie présentée par cette formation, avec la glande androgène que nous avons décrite [3] chez deux représentants Oniscoïdes de la série Tylienne nous a conduits à étudier la structure histologique de cet organe chez le Sphérome. Ce filament cellulaire d'une largeur uniforme de 40 μ peut mesurer jusqu'à 2 mm de long chez un ♂ adulte. Il s'insère sur la vésicule séminale par une base de 400 μ de large. Il est constitué par de nombreuses cellules à noyau arrondi de 5 μ de diamètre, très riche en chromatine, à nucléole bien visible, et dont le cytoplasme se colore à la gallocyanine. Il existe aussi, à la périphérie de ce cordon, de petites cellules pariétales assez rares, au noyau fusiforme (7 μ de long sur 2 μ de large), dont le cytoplasme ne se colore pas à la gallocyanine. Ce cordon gagne la face ventrale et se perd dans du tissu mésenchymateux du côté interne de la base d'insertion du Ve péreiopode.

Au niveau du VIe segment thoracique existe également un amas cellulaire de forme lenticulaire ayant une base de 370 μ de diamètre et atteignant 180 μ de haut. Il est accolé à la vésicule séminale, du côté externe. Il est constitué de cellules à noyau arrondi ou ovoïde de 5 à 6 μ de diamètre, riche en chromatine, dont le cytoplasme se colore à la gallocyanine. Quelques rares cellules à noyau fusiforme, semblables aux cellules périphériques du filament du Ve segment thoracique constituent l'enveloppe conjonctive de cet amas cellulaire.

Les utricules testiculaires se prolongent par un filament, constitué par un très petit nombre de cellules et semblant purement conjonctif.

La démonstration expérimentale du rôle sécréteur d'hormone ♂ joué

par les amas du Ve et du VIe segments thoraciques a été effectuée par des implantations.

— 3 ♀ ayant reçu le filament du Ve segment thoracique ont présenté l'apparition d'un *appendix masculina* à l'endopodite de la deuxième paire de pléopodes ainsi qu'une évolution, plus ou moins poussée, de la morphologie de l'antenne dans le sens ♂ par multiplication du nombre et de la longueur des soies des premiers articles.

— 1 ♀ ayant reçu l'amas cellulaire du VIe segment thoracique a présenté également l'apparition d'un *appendix masculina* et une masculinisation de l'antenne, ainsi que l'apparition de deux apophyses génitales à la face ventrale du VIIe segment thoracique.

Ces résultats confirment l'étude histologique et permettent d'assimiler ces deux amas cellulaires à des glandes androgènes.

Cette disposition du tissu sécréteur de l'hormone mâle au niveau du Ve et du VIe segment thoracique étend donc à un représentant du sous-ordre des Flabellifères l'observation effectuée chez les Oniscoïdes ([3]), d'une répartition métamérique de ce tissu, liée à une métamérisation des tractus de la gonade.

Les descriptions des gonades des deux sexes données par Leichmann ([1]) et Mlle Pigeault ([2]) ne laissent aucun doute en effet sur la métamérisation initiale des tractus, ce qui étend aux Sphéromiens l'observation faite par Legrand et Vandel ([4]) chez les Oniscoïdes supérieurs et par Legrand et Juchault ([5]) chez les *Tylidæ*.

La similitude de la disposition des glandes androgènes d'*Helleria brevicornis* et de *Sphæroma serratum* est remarquable. Elle rend tout à fait probable l'hypothèse que la glande androgène du Ve segment thoracique de *Sphæroma* correspond, comme l'affirme Mlle Pigeault, à l'équivalent de l'oviducte qui, comme chez *Helleria*, subit précocement après la naissance une évolution dans le sens endocrine.

Il serait à vérifier par une étude du développement de la gonade que la glande androgène du VIe segment correspond elle aussi, à un tractus, présent chez les Oniscoïdes, mais non encore décrit chez les Sphéromiens.

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) *Bibliotheca Zoologica*, part. 10, 1891, 44 pages, 8 planches, J. R. Micr., p. 737.

([2]) *Trav. Inst. Sc. Cherif., Ser. Zool.*, n° 13, 1957, 60 pages.

([3]) J.-J. Legrand et P. Juchault, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 764.

([4]) *Bull. Biol. France-Belgique*, 82, 1948, p. 79-94.

([5]) J.-J. Legrand et P. Juchault, *C. R., Soc. Biol.*, Paris, séance du 27 février 1960 (sous presse).

ÉCOLOGIE. — *Diapauses spontanée et provoquée chez le Lumbricide* Eophila dollfusi *Tétry*. Note (*) de Mlle **Monique Boulot** et M. **Alain Gallissian**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Eophila dollfusi, espèce décrite par Tétry [1] sur un exemplaire unique provenant du Vaucluse a été trouvée en abondance au Jardin botanique de Marseille, en divers points de la région marseillaise et à Nîmes, toujours dans des jardins cultivés. Cette espèce est sujette à une diapause estivale analogue à celles qui ont été étudiées par Avel [2], Abeloos et Avel [3], J. Michon [4] chez divers autres Lumbricides.

1. *Diapause spontanée.* — Les individus maintenus au laboratoire dans des conditions constantes et sensiblement optimales du point de vue de l'humidité, de l'alimentation (feuilles de Tilleul) et de la température (18°) ont présenté en janvier un développement maximum de leurs caractères sexuels. A partir de la fin d'avril et au plus tard en juillet, 40 % de ces individus d'âges variés sont entrés en diapause. Cet état, précédé par une diminution de l'appétit des Vers, est défini par l'immobilité et le jeûne à l'intérieur d'une logette de terre dans une attitude enroulée caractéristique. Il s'accompagne d'une réduction du poids corporel à 60 % de sa valeur initiale et, après quelques semaines de repos, de l'apparition du pouvoir de régénération de la queue chez les animaux amputés. Le pouvoir de régénération de la tête persiste en toute saison.

L'état de diapause apparu spontanément dure cinq à six semaines et cesse également spontanément lorsque les conditions de milieu sont maintenues constantes. Mais la phase de repos peut être prolongée plusieurs mois par une privation d'eau débutant après l'installation de la diapause et avant le réveil spontané. Il s'agit alors d'un simple état de *quiescence* sous la dépendance immédiate de l'humidité de l'environnement, les Vers pouvant être réactivés à tout moment par arrosage. Dans les conditions naturelles, la diapause estivale est normalement suivie d'une telle période de quiescence, les Vers ne reprenant leur activité qu'au moment des pluies d'automne.

2. *Diapause provoquée.* — Des Vers préalablement nourris durant un mois dans les conditions optimales en milieu très humide, en novembre, en dehors de la saison de diapause spontanée, ont été soumis à une dessiccation très ménagée de la terre, dont nous avons suspendu l'arrosage. Un mois après le début de l'application de ce traitement, 40 % de ces animaux ont présenté une diapause offrant les mêmes caractères que la diapause spontanée du point de vue de la durée, de la chute de poids, de l'apparition du pouvoir régénérateur caudal. Le déroulement normal du processus et le réveil spontané qui suit exigent cependant le maintien de l'humidité de

la terre au taux (22 % environ) atteint lors de l'entrée en diapause, un taux inférieur à 15 % étant fatal aux Vers.

L'élévation ou l'abaissement de la température dans des conditions optimales d'humidité ne suffisent pas pour provoquer la diapause. Mais la diapause ne semble pas pouvoir être provoquée par la dessiccation à des températures inférieures à 15° et le pourcentage de diapauses provoquées semble augmenter avec la température.

Pour Avel (2), la diapause apparaît toujours spontanément, selon un rythme annuel, sans relation directe avec une variation des facteurs externes, tandis que Michon (4), qui a mis en évidence la diapause provoquée par dessiccation, nie l'existence d'une diapause spontanée. Nos observations sur *Eophila dollfusi* confirment donc à la fois, sur une même espèce, les données en apparence contradictoires de ces deux auteurs. Elles montrent, en outre, l'existence d'un état de quiescence déterminé par une humidité insuffisante sur des animaux déjà potentiellement réactivés.

Le caractère inconstant, individuel, de la diapause spontanée d'*Eophila* peut relever, soit de facteurs héréditaires, soit, plus vraisemblablement, d'une influence des conditions réalisées antérieurement. La diapause est liée à un état physiologique interne où interviennent peut-être, comme semblent l'indiquer les variations du pouvoir régénérateur caudal, des facteurs endocriniens susceptibles d'être eux-mêmes contrôlés par des influences externes complexes jouant à plus ou moins longue échéance.

En résumé, *Eophila dollfusi* présente une diapause estivale offrant les mêmes caractères que celles d'autres Lumbricides. Cet état peut être provoqué par une dessiccation ménagée à une température supérieure à 15°; mais il apparaît également spontanément en mai dans des conditions de milieu optimales constantes.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) A. Tetry, *Bull. Muséum Hist. Nat.*, Paris, 2e série, 11, 1939.

(2) M. Avel, *Bull. Biol. France-Belgique*, 63, 1929.

(3) M. Abeloos et M. Avel, *C. R. Soc. Biol.*, 99, 1928.

(4) J. Michon, *Thèse*, Poitiers, 1954.

ÉCOLOGIE. — *Sur la nymphose de* Pseudocistella ceramboides *Linné* (*Coléoptère-Alleculidæ*). Note (*) de M[lle] **Simone Kelner-Pillault**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

Pseudocistella ceramboides L. est une espèce indigène et dominante de la biocénose du terreau des cavités de Saules et de Châtaigniers. Pendant la période de nutrition, le tube digestif de ses larves saproxylophages apparaît, à travers le tégument transparent, comme une large bande longitudinale médiane brune. Aux approches des mues et avant la nymphose, les larves le vident complètement et leur corps est alors entièrement jaune.

La préparation à la nymphose commence dès novembre-décembre dans la nature comme au laboratoire. Les larves de 25 mm de long sont arrivées au terme de leur croissance. Elles cessent de se nourrir, vident leur tube digestif une dernière fois et sillonnent de galeries toute l'épaisseur du terreau mis à leur disposition.

Arrivée dans une zone dont l'humidité lui convient, chaque larve, prenant appui sur une surface solide : paroi de verre du tube d'élevage, fragment de bois dans les cavités, circonscrit une sphère d'environ 1,5 cm de diamètre puis y pénètre. Elle s'y bande en arc, tourne sur elle-même dans tous les plans, compressant le terreau périphérique avec sa face dorsale convexe. Elle construit ainsi une coque subsphérique, lisse à l'intérieur, rugueuse à l'extérieur, coque mentionnée pour la première fois par Olivier en 1789. Sa coque achevée, si l'humidité varie peu, la larve s'y roule en crosse et se tient immobile jusqu'en mars-avril puis se transforme en nymphe.

J'ai déterminé par dessèchement à 70° C la teneur en eau du terreau de la zone choisie par les larves pour leur nymphose. Dans les élevages, le pourcentage d'eau par rapport au poids total du terreau était en moyenne 60 % à 10° C, 50 % à 15° C et 40 % à 20° C. Le preferendum hydrique des larves avant la nymphose varie donc avec la température mais la teneur en eau des coques habitées est toujours comprise entre 60 et 35 % et les coques sont d'autant plus résistantes qu'elles sont plus humides. Dans les terreaux contenant moins de 30 % d'eau, la construction des coques est impossible en raison de l'écroulement constant des éléments.

Dans les cavités de Saules et de Châtaigniers, à la fin de l'automne, j'ai trouvé des larves dans des coques de terreau humide contenant jusqu'à 60 % de son poids d'eau. Au printemps j'ai toujours récolté les coques de nymphose dans les zones abritées dont le terreau contenait seulement 35 % d'eau.

Au laboratoire comme dans la nature, les exigences hygrométriques de l'espèce varient avec la température.

Dans les conditions hygrothermiques naturelles, pendant plus de

quatre mois (de décembre en avril) la larve se tient immobile dans sa coque. Si la teneur en eau du terreau qu'elle avait choisi pour se nymphoser est fortement augmentée, elle perfore la paroi de sa coque, la quitte et cherche une zone plus sèche où elle en construit une nouvelle.

Il pourrait sembler que cette période de repos que subit la larve n'est qu'une simple diapause hivernale; il n'en est rien car au printemps ces larves ne reprennent pas de nourriture; elles m'ont toujours donné des nymphes.

En raison des reprises d'activité, il est impossible d'appeler « prénymphe » la larve roulée en crosse dans sa coque pendant tout l'hiver. Quatre à cinq jours seulement avant le rejet de la dernière exuvie, la larve cesse tout mouvement et son dernier segment abdominal devient transparent : c'est la prénymphe que ce dernier caractère permet de distinguer des larves hibernantes.

La préparation à la nymphose dans la nature dure de quatre à cinq mois. Au laboratoire, j'ai placé des larves en coques aux températures constantes de 10, 15 et 20° C. Elles se sont transformées en nymphes respectivement après 136, 105 et 73 jours. Une élévation de température de 5° C abrège donc notablement cette période préparatoire à la nymphose.

Les variations thermiques influent également sur la durée de la nymphose. Des nymphes encloses dans leurs coques de terreau placées à température constante sont restées dans cet état pendant 27 jours à 10° C et ont donné des adultes après 10 jours seulement à 20° C. Quand larves hibernantes et nymphes ont été constamment maintenues à 15° C, la nymphose a duré 13 jours tandis que quand la période préparatoire a eu lieu à 10°, la nymphose à 15° C ne dure que 9 jours.

Voici un tableau résumant la durée de la période préparatoire à la nymphose et de la nymphose à différentes températures :

Préparation à la nymphose.		Nymphose.	
Température (°C).	Durée (jours).	Température (°C).	Durée (jours).
10	136	10	27
10	95	15	9
15	105	15	13
20	73	20	10

Les durées les plus courtes des deux périodes, préparation à la nymphose et nymphose, ont été obtenues soit par l'action constante d'une température élevée (20°), soit par l'action d'un choc thermique, passage brusque de 10 à 15° C.

Par contre, les larves maintenues tout l'été à 10° C sont mortes sans se nymphoser et aux températures supérieures à 20° C, même si l'humidité favorable est maintenue, les prénymphes périssent. Comme pour la période préparatoire, une élévation de quelques degrés abrège considérablement la durée de la nymphose.

Dans les conditions naturelles, d'après Olivier (1789), la nymphose a lieu en avril-mai et dure une vingtaine de jours. Westwood (1839) récolte les larves en mars et obtient les adultes en mai. Mulsant (1850) qui décrit soigneusement la nymphe, n'indique aucune date.

Personnellement, des prénymphes récoltées le 2 mai, conservées dans les conditions naturelles, m'ont donné des adultes le 11 mai. Ceci permet d'avancer que dans la nature, la nymphose dure environ 10 jours. Les 20 jours indiqués par Olivier incluent, en plus du temps de nymphose, la durée de la prénymphose (4 à 5 jours) et une partie de la période pendant laquelle la larve reste capable de se reconstruire une nouvelle coque si on l'extrait de l'ancienne.

Ces quelques résultats montrent l'importance des facteurs hygrothermiques sur une partie du cycle biologique de *Pseudocistella ceramboides* L. Ces exigences étroites ne sont pas l'apanage de sa nymphe; elles existent à d'autres degrés chez ses larves de tous âges. De plus, comme *Pseudocistella ceramboides*, toutes les espèces indigènes de la biocénose des terreaux apparaissent comme sténohygrobiontes et sténothermes, ce qui permet de comprendre la composition variable du peuplement et sa répartition très particulière dans les divers types de cavités des Saules et Châtaigniers.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) M. E. MULSANT, *Coléoptères de France, Pectinipèdes*, 1856, p. 47.

(2) M. OLIVIER, *Histoirc naturelle des Insectes*, Col. III, 1789, p. 5.

(2) F. L. S. WESTWOOD, *Introd. to the modern classif.*, 1839, p. 309.

(Station biologique des Eyzies, Dordogne, Laboratoire d'Entomologie du Muséum d'Histoire naturelle.)

GÉNÉTIQUE. — *Sur l'existence d'une unité génétique polarisée ne subissant que des échanges non réciproques.* Note (*) de MM. **Pascal Lissouba** et **Georges Rizet**, présentée par M. Antoine Lacassagne.

Lorsqu'on croise 2 mutants d'une même « série » chez *Ascobolus immersus*, il se produit très peu de recombinaisons (1).

Il en est ainsi de la série 46 qui comprend les mutants spontanés 46, *W*, 63, 137, 138, 188 et le mutant *B* obtenu par irradiation aux rayons X. Tous les croisements possibles ont été réalisés entre ces divers mutants et entre les souches + et — d'un même mutant. Les résultats portant sur plus de 10^6 tétrades ont été groupés dans le tableau I.

TABLEAU I.

		188.	63.	46.	*W*.	137 et 138.	*B*.
188	P.....	> 35 000	5 264	4 008	8 047	8 595	25 210
	T.....	0	4	5	40	81	0
	R.....	0	0	0	0	1	0
63	P.....		> 280 000	11 278	5 974	2 100	18 027
	T.....		0	6	17	27	4
	R.....		0	0	0	0	0
46	P.....			> 190 000	12 021	8 600	22 345
	T.....			0	9	99	0
	R.....			0	0	0	0
W	P.....				> 186 000	18 072	23 214
	T.....				0	150	0
	R.....				0	1	0
137 et 138	P.....					> 222 000	22 490
	T.....					0	0
	R.....					0	0
B	P.....						> 150 000
	T.....						0
	R.....						0

P, asques à huit spores blanches (*ditypes parentaux*); T, asques à six spores blanches et deux spores noires (*Tétratypes* supposés); R, asques à quatre spores blanches et quatre spores noires (*ditypes recombinés* supposés). Le comportement identique de 137 et 138 fait qu'on les trouvera toujours groupés : ils résultent probablement d'un même événement.

Ce tableau montre que : *a*. Le croisement d'un mutant par lui-même n'a donné naissance à aucune spore sauvage : aucune mutation réverse n'a été décelée; *b*. La plupart des croisements intéressant le mutant *B* n'ont pas fourni de recombinaisons sauvages; *c*. Les tétrades à quatre spores blanches et quatre spores noires sont quasi absentes; *d*. Les spores noires se rencontrent par paires (un des produits de la méiose) dans des asques contenant six spores mutantes (asques 6 : 2).

TABLEAU II.

	188.	63.	46.	*W.*	137 et 138.	*B.*
188	0	0,74 0,29 à 2,01	1,24 0,52 à 2,97	5,00 ±0,79	10,00 ± 1,04	0
63		0	0,54 0,24 à 1,17	2,82 ±0,52	13,78 ± 2,60	0,22 0,11 à 0,55
46			0	0,76 0,39 à 1,44	11,50 ± 1,16	0
W				0	8,40 ± 0,69	0

Les fréquences de ces asques 6 : 2 (mesurées à partir du tableau I pour 10^3 tétrades, et affectées de leur erreur-type, ou accompagnées de leur intervalle de confiance) sont groupées dans le tableau II. Si l'on envisage sur ce tableau les fréquences correspondant à trois mutants quelconques, à l'exception du mutant *B*, on constate que l'une d'elles n'est pas significativement différente de la somme des deux autres. Ceci nous autorise à placer sur une droite les divers « *sites* » envisagés (*fig.* 1).

En supposant que les asques 6 : 2 sont des tétratypes résultant d'un enjambement, on obtiendrait une carte factorielle classique en divisant par 2 les distances représentées sur cette figure. Mais cette supposition est-elle exacte ?

120 de ces asques 6 : 2 ont été analysés, les huit souches (une tétrade) issues de chacun d'eux étant croisées avec l'un et l'autre parent et les descendances analysées.

Dans chacune des tétrades, les quatre produits de la méiose se répartissent comme suit : *un* produit *sauvage* (les deux souches issues des deux spores noires); *deux* produits identiques à l'un des parents (*majoritaire*) et *un* produit identique à l'autre parent (*minoritaire*). Aucune de ces tétrades n'a fourni de souches double-mutantes, c'est-à-dire de recombinaisons réciproques.

L'ensemble des résultats est groupé dans le tableau III qui montre que : *a.* dans un même croisement le *majoritaire* est toujours le même; *b.* un même mutant peut être *majoritaire* ou *minoritaire* selon les croisements; *c.* dans chaque croisement le parent *majoritaire* est celui dont le « *site* » se trouve le plus à gauche sur la carte (*cf.* tableau III et *fig.* 1).

En résumé, les « *sites* » des divers mutants de cette série peuvent être disposés linéairement; ils définissent ainsi un segment chromosomique à

l'intérieur duquel aucun enjambement ne se produit; toutes les recombinaisons observées sont du type « *conversion* ». Enfin la règle qui permet de prédire pour un croisement donné, le *parent majoritaire* impose l'idée qu'il s'agit d'un *segment polarisé*.

TABLEAU III.

Croisements.	Ségrégation.	Nombre d'asques analysés.	Enjambement.	Parent majoritaire.	Parent minoritaire.	Nature des spores noires.
188 × 63	6:2	8	0	188	63	Sauvages
188 × 46	6:2	2	0	188	46	S
188 × *W*	»	10	0	188	*W*	»
188 × 138	»	7	0	188	138	»
63 × *B*	»	2	0	63	*B*	»
63 × 46	»	2	0	63	46	»
63 × *W*	»	18	0	63	*W*	»
63 × 138	»	27	0	63	138	»
46 × *W*	»	7	0	46	*W*	»
46 × 138	»	22	0	46	138	»
W × 137	»	15	0	*W*	137	»

Seul le comportement du mutant *B* est aberrant car on est amené à donner au « *site* » *B* une certaine longueur sur la carte (*fig.* 1). Si l'on se souvient qu'il s'agit d'un mutant obtenu par irradiation, on peut admettre qu'il s'agit d'une déficience.

Cette étude met donc en évidence l'existence d'une *unité génétique* qui ne se superpose à aucune de celles qui correspondent aux diverses définitions du gène : ce n'est ni un *cistron*, ni un *muton*, ni un *recon* [2]. *C'est une unité linéaire ne subissant que des échanges non réciproques*, comme cela paraît être le cas chez les virus, et dont l'*originalité lui est surtout conférée par sa polarité* : nous proposons de l'appeler « *polaron* ».

Les analogies avec des situations décrites par divers auteurs seront discutées ultérieurement. D'ores et déjà, en essayant de situer le « *polaron* » dans le cadre des conceptions relatives à la replication de la molécule d'acide desoxyribonucléique, on notera que l'existence d'un *majoritaire unique* pour chaque croisement, la linéarité et la polarité du segment portant les « *sites* », sont conformes à l'idée que cette replication s'opère à partir de l'une des extrémités de la molécule [3].

Enfin, si chaque asque 6 : 2 résulte d'une « *erreur de copie* », on doit s'attendre à l'existence d'un autre type d'asques 6 : 2 : des asques à huit spores blanches dont deux seraient double-mutantes et dans lesquels il y aurait *inversion du majoritaire*. Leur mise en évidence, constituerait une confirmation du schéma de Taylor [3] : elle est en cours.

(*) Séance du 2 mai 1960.

[1] *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2050.

[2] S. BENZER, *The Chemical Basis of Heredity*, John Hopkins Press, 1957, p. 70.

[3] J. H. TAYLOR, *Proc. Xth int. Cong. Genet.*, 1, 1958, p. 63.

MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE BIOLOGIQUE. — *Essais de cytochimie ultrastructurale. Action sur l'ergastoplasme.* Note de M. **Wilhelm Bernhard** et Mlle **Elizabeth Leduc**, présentée par M. Robert Courrier.

Utilisant la matière d'inclusion hydrosoluble introduite par Stäubli [1], les auteurs ont traité des coupes ultrafines de pancréas de rat à l'acide chlorhydrique, à l'acide perchlorique et à la ribonucléase. Le microscope électronique révèle une disparition partielle ou totale des structures ergastoplasmiques de certaines de ces préparations.

Il est possible d'attaquer des structures cytoplasmiques et notamment l'ergastoplasme, en traitant des coupes ultrafines par des solutions hydrolysantes. Dans une précédente Note [2], nous avons déjà rapporté les altérations ainsi provoquées au niveau du noyau. Les changements cytoplasmiques sont également importants. Ils s'expriment surtout au niveau des structures basophiles porteuses d'acide ribonucléique.

1. Matériel et méthode. — *a.* Des fragments de pancréas de jeunes rats sont fixés 15 mn au formol à 10 % tamponné à l'acétate de véronal à pH 7,2-7,3, déshydratés et inclus dans des solutions à concentrations croissantes du polyépoxyde hydrosoluble X 133/2097 (CIBA) selon la méthode de Stäubli [1]. La polymérisation est effectuée à 37°. Les coupes sont faites aux ultramicrotomes « Servall et L. K. B. », puis transférées dans les solutions selon la technique indiquée ailleurs [2].

b. Les solutions suivantes sont employées :

1° Acide chlorhydrique 0,1 N et 1 N à 37 et 57° C, pendant 15 mn, 30 mn, 1 h, 2 h 30 mn, 5 h et 15 h.

2° Acide perchlorique à 10 % à 37° C, pendant 30 mn, 1, 2, 4, 6 et 15 h.

3° Ribonucléase à 0,1 et 0,2 %, dissoute dans l'eau distillée, le pH étant ajusté à 6,8 avec de la soude 0,01 M. Les temps de traitement varient de 30 mn à 24 h. à la température de 37° C.

c. Parallèlement, des coupes semi-fines d'environ 2,5 μ d'épaisseur sont soumises à un traitement semblable, puis colorées au bleu de méthylène ou à la gallocyanine pour contrôler le degré de basophilie cytoplasmique au microscope optique.

d. Avant l'examen au microscope électronique, toutes les coupes ultrafines sont colorées à l'acétate d'uranyle à 5 % pendant 1 h.

2. Observations. — *a. L'acide chlorhydrique*, employé à 0,1 N et à 57° C, ne donne pas d'effet visible après 30 mn de traitement (*fig.* 1). Après 1 h, les grains RNP sont encore nettement présents, mais on note alors un éclaircissement général des lamelles ergastoplasmiques et du noyau. Après 5 h, la plupart des grains ont disparu. A leur place, on distingue une substance floconneuse très mal délimitée, ainsi que des trous minuscules situés probablement là où se trouvaient les grains RNP. Un traitement

semblable de 15 h est nettement trop violent. Les lamelles ergastoplasmiques sont alors presque complètement détruites.

L'action du HCl 1 N est beaucoup plus intense. A 57° C on note une disparition de la plupart des grains RNP après 30 mn. L'image est ainsi comparable à celle d'une coupe traitée pendant 5 h par le HCl 0,1 N (*fig.* 2). Après 1 h tous les grains ont disparu, mais les lamelles persistent. Après 15 h, la destruction du cytoplasme est très avancée, mais on reconnaît encore l'arrangement lamellaire initial (*fig.* 3).

Les observations faites parallèlement au microscope optique montrent que les coupes semi-fines n'ont conservé qu'une basophilie très faible après 30 mn de traitement par le HCl 1 N à 58° C. Elle a complètement disparu après 1 h. Comme il ressort d'autres expériences ( ), il y a donc une bonne concordance entre la présence ou l'absence des grains RNP et la basophilie cytoplasmique.

b. L'action de l'acide perchlorique 10 % est assez comparable à celle du HCl. Employé à 37° C pendant 1 h, cet acide ne provoque qu'une légère perte de la substance nucléaire et cytoplasmique, ce qui donne un « éclaircissement » de l'image électronique. Après 2 h, les contours des grains RNP sont moins nets. Rangés en chapelet ou fusionnant en crêtes, ils persistent cependant le long des membranes qui restent elles-mêmes invisibles. Après 4 h, noyau et cytoplasme ont perdu encore plus de substance. Les grains RNP ne subsistent que sous forme de flocons irréguliers et peu contrastés, mais il reste les crêtes continues (« pseudo-membranes ») (*fig.* 6), accolées aux membranes ergastoplasmiques. A ce stade d'hydrolyse la densité aux électrons des mitochondries et des grains zymogènes augmente considérablement après coloration à l'uranium. Après 6 h l'ergastoplasme ne possède ni grains isolés, ni pseudo-membranes. Sur la figure 5, il y a une « inversion » de l'image cytoplasmique par rapport au contrôle (*fig.* 4). Les lamelles ergastoplasmiques sont dépourvues de grains, leurs contours sont diffus. Les mitochondries, par contre, sont beaucoup plus colorées.

c. L'action de *la ribonucléase seule* semble être nulle dans les conditions expérimentales décrites ci-dessus. Même un traitement prolongé jusqu'à 24 h avec une concentration élevée de l'enzyme (0,2 %), n'a aucun effet visible

Explication des figures.

Fig. 1-7. — Pancréas de rat. Traitement à l'acide chlorhydrique, à l'acide perchlorique et à la ribonucléase. Coloration pendant 1 h à l'acétate d'uranyle à 5 %.

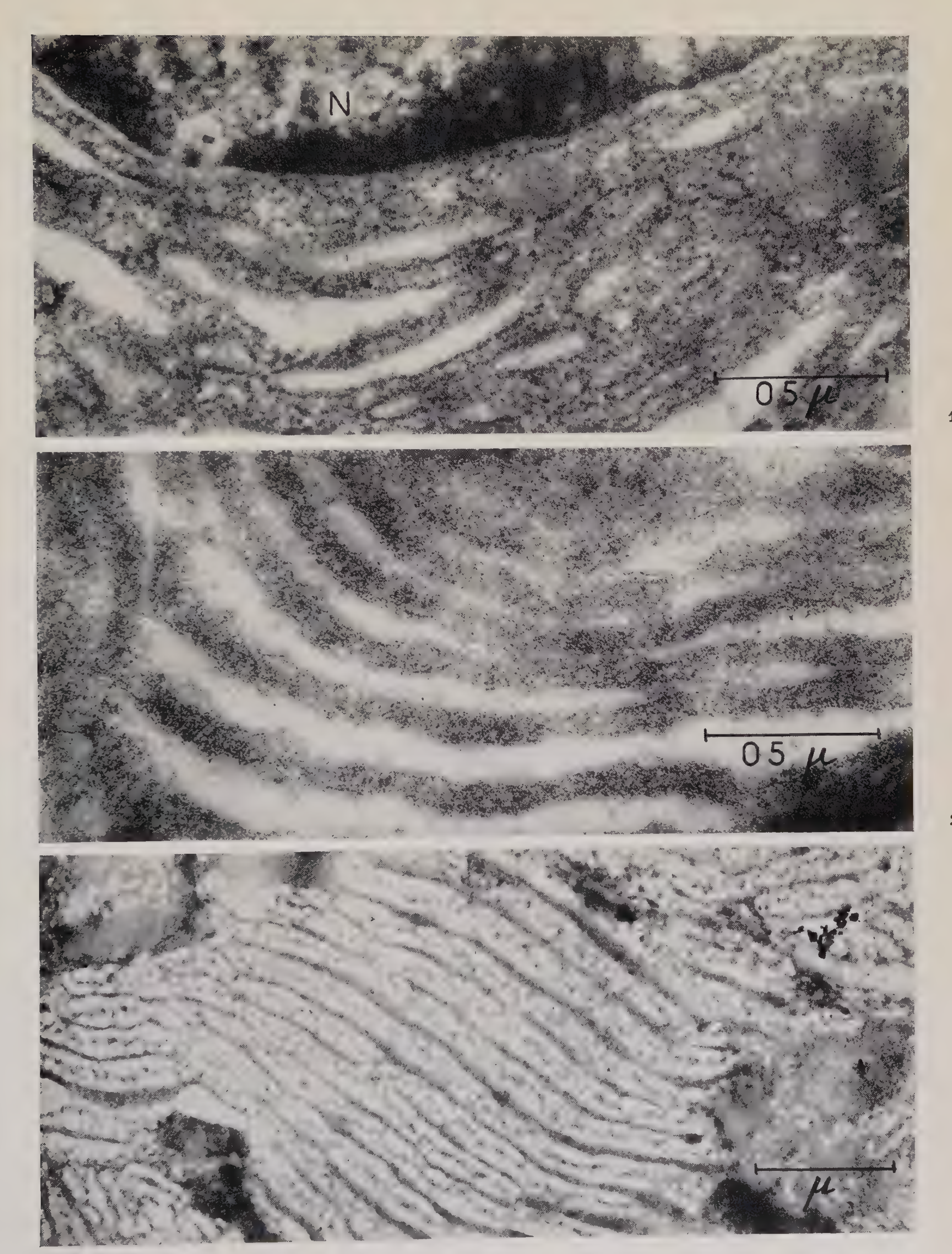
Fig. 1-3. — Ergastoplasme traité au HCl à 57° C.
Disparition progressive des grains RNP et des lamelles.

Fig. 1 : HCl 0,1 N, 30 mn;

Fig. 2 : HCl 1 N, 30 mn;

Fig. 3 : HCl 1 N, 15 h.

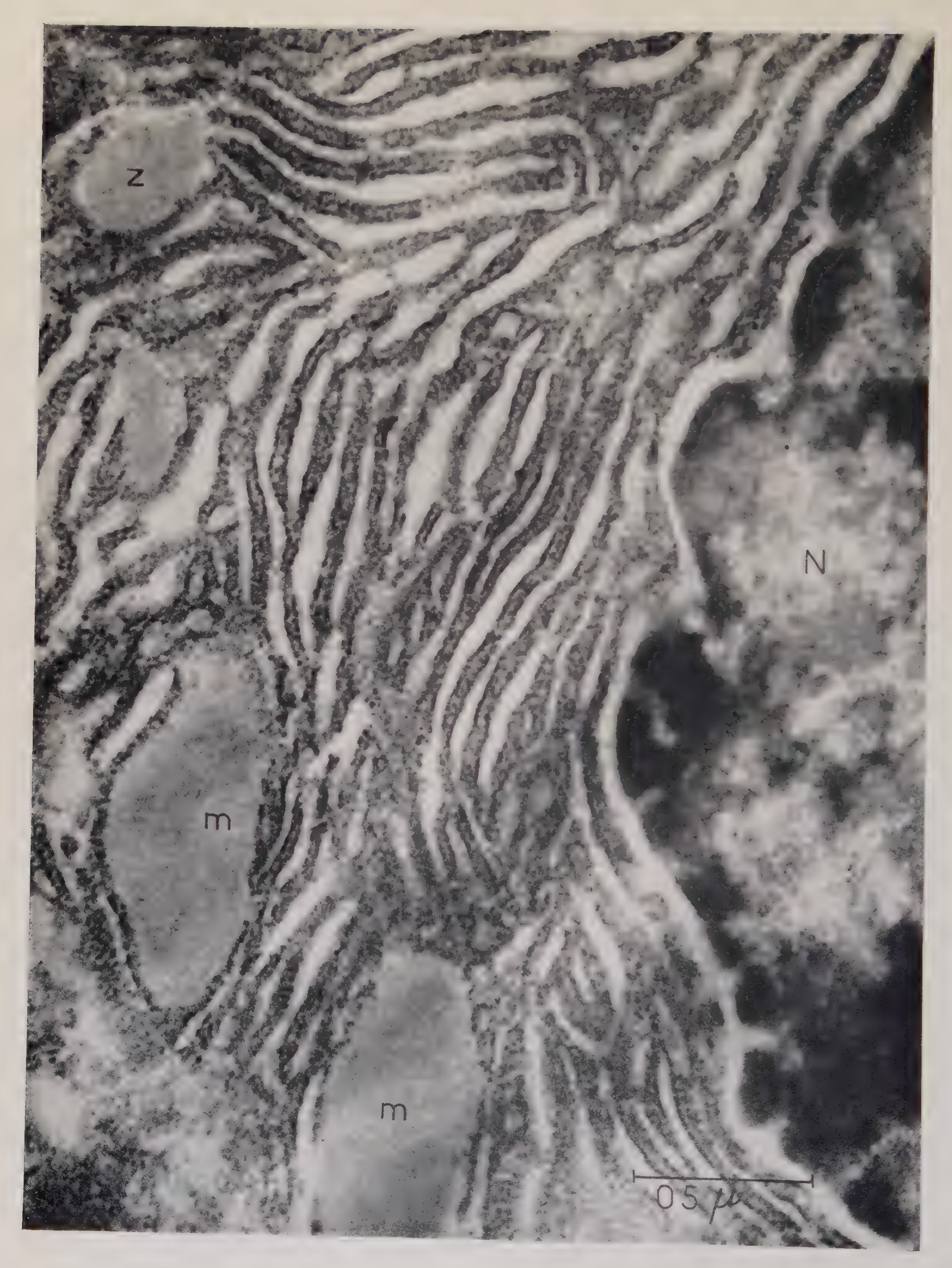
Grossissements : Fig 1 et 2, × 60 000; Fig. 3, × 24 000.



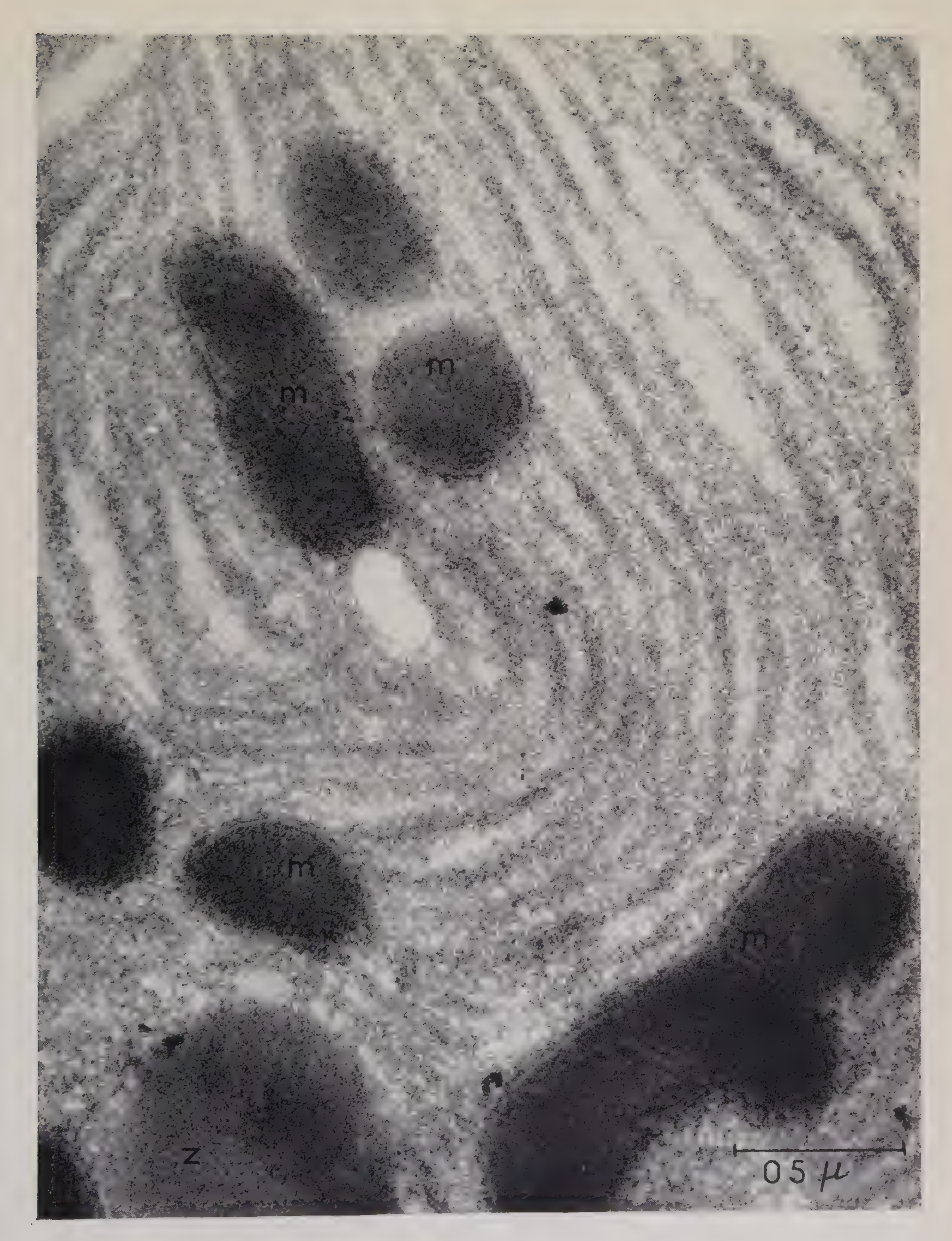
1

2

3



4



5

N 0.5 μ

6

Z

Z

0.5 μ

7

Fig. 4. — Portion de cellule non traitée avec ergastoplasme et mitochondries (G × 60 000).

Fig. 5. — Même préparation traitée pendant 15 h à l'acide perchlorique. Disparition des grains RNP, augmentation du contraste des mitochondries et des grains de zymogène G × 60 000).

Fig. 6. — Ergastoplasme traité pendant 4 h à l'acide perchlorique. Disparition partielle des grains RNP (G × 60 000).

Fig. 7. — Ergastoplasme traité pendant 24 h à la ribonucléase à 0,2 %. Aucun effet sur son ultrastructure (G × 60 000).

sur les coupes ultra-fines (*fig.* 7). On pourrait se demander si l'uranium ne colore pas seulement la partie protéinique des grains RNP, ne révélant donc pas la dépolymérisation ou la disparition de l'acide nucléique. Cependant, la basophilie cytoplasmique persiste dans les coupes semi-fines traitées à la nucléase.

Il semble donc possible d'agir sur l'ultrastructure du cytoplasme en traitant des coupes ultra-fines avec les acides chlorhydrique et perchlorique. On obtient une disparition partielle ou totale des grains RNP, effet qui correspond à la diminution ou à la disparition de la basophilie cytoplasmique.

L'utilisation des acides perchlorique et chlorhydrique pour hydrolyser les nucléoprotéines et extraire non seulement l'ARN, mais encore l'ADN a été discutée en détail ailleurs [Lessler (4), Lillie (5), Pearse (6)]. On peut observer au microscope électronique l'effet de ces substances sur des coupes ultrafines. Une analyse plus approfondie des ultrastructures cellulaires porteuses d'acides nucléiques est ainsi devenue réalisable.

(1) W. Stäubli, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1137.
(2) E. Leduc et W. Bernhard, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2948.
(3) E. Palade et P. Siekewitz, *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 2, 1956, p. 671.
(4) M. H. Lessler, *Int. Rev. Cytol.*, 2, 1953, p. 231-247.
(5) R. O. Lillie, *Histopathologic Technic and Practical Histochemistry*, Blakiston Co, New York, 1953.
(6) A. G. E. Pearse, *Histochemistry*, J. A. Churchill Ltd, London, 1960.

(*Laboratoire de Microscopie électronique, Institut de Recherches sur le Cancer, Villejuif, Seine.*)

BIOPHYSIQUE MOLÉCULAIRE. — *Mise en évidence de propriétés ferroélectriques dans l'acide désoxyribonucléique (DNA)*. Note (*) de MM. **Joseph Polonsky, Pierre Douzou** et **Charles Sadron**, présentée par M. Francis Perrin.

Les auteurs ont mis en évidence expérimentalement que le DNA sous forme solide de désoxyribonucléate de sodium, manifeste des propriétés analogues à celles connues dans des corps ferroélectriques comme par exemple le titanate de barium $TiBaO_3$).

1. Objet. — En partant de l'idée que certaines propriétés électroniques à l'état solide, observées dans des substances minérales ou organiques, pourraient se retrouver dans certaines molécules biologiques, nous avons entrepris des expériences destinées à rechercher — dans le DNA — des propriétés ferroélectriques ([1]) analogues à celles que montrent le titanate de barium ($TiBaO_3$) par exemple, et d'autres matériaux similaires.

2. Matériel utilisé. — Cette Note rapporte les résultats obtenus sur des échantillons du sel de sodium du DNA, pris en fibres solides.

Des DNA de diverses origines ont été utilisés et ont fourni des résultats comparables. Nous rapportons ici les résultats relatifs à un échantillon de DNA extrait des cellules d'érythrocytes du coq par la méthode de Pouyet ([2]) qui est une variante de la méthode classique de Sevag ([3]).

Les fibres obtenues n'ont pas été lyophilisées et elles contiennent environ 20 % d'eau. Ces fibres ont été comprimées en une pastille d'épaisseur 1 mm environ, serrée entre les deux plaques d'un condensateur plan.

3. Résultats expérimentaux. — *a. Cycles d'hystérésis.* — Le comportement ferroélectrique de l'échantillon a été étudié par une méthode classique ([4]) à diverses fréquences et en fonction de la température.

La figure 1 représente quelques photographies de cycles d'hystérésis obtenus à la fréquence de 50 c/s, pour diverses températures. Le champ maximal appliqué à l'échantillon a été de 1000 V/cm. Cependant, pour des températures comprises entre 30 et 50° C, des cycles très caractéristiques ont pu être enregistrés pour des champs maxima très inférieurs à 100 V/cm.

Entre 50 et 60° C on constate une perte d'hystérésis, ce qui peut être interprété par l'existence d'un point de Curie situé vers 60° C (*fig. 1 f*). Après refroidissement, on revient lentement — sans toutefois arriver à la parfaite identité — aux cycles d'hystérésis observés avant l'échauffement. Par ailleurs, l'hystérésis commence à disparaître pour des températures inférieures à 10° C et s'évanouit pratiquement à 0° C.

Nous avons porté sur la figure 2, à titre de comparaison, des cycles d'hystérésis obtenus sur les ferroélectriques classiques ([5]). Il est intéressant de remarquer que pour les températures au voisinage du point de Curie,

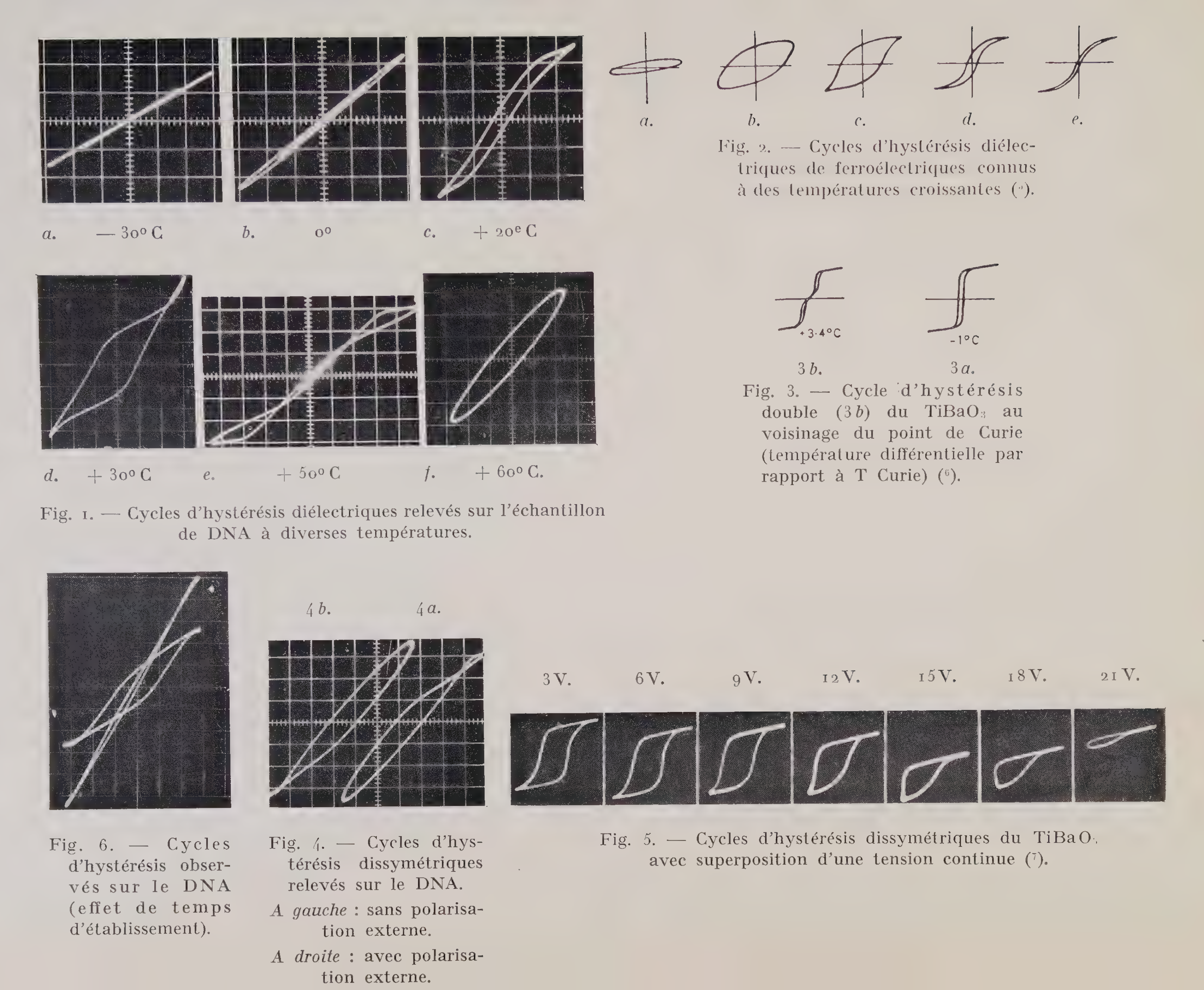


Fig. 1. — Cycles d'hystérésis diélectriques relevés sur l'échantillon de DNA à diverses températures.

Fig. 2. — Cycles d'hystérésis diélectriques de ferroélectriques connus à des températures croissantes ([5]).

Fig. 3. — Cycle d'hystérésis double (3 *b*) du $TiBaO_3$ au voisinage du point de Curie (température différentielle par rapport à T Curie) ([6]).

Fig. 6. — Cycles d'hystérésis observés sur le DNA (effet de temps d'établissement).

Fig. 4. — Cycles d'hystérésis dissymétriques relevés sur le DNA.

A gauche : sans polarisation externe.

A droite : avec polarisation externe.

Fig. 5. — Cycles d'hystérésis dissymétriques du $TiBaO_3$ avec superposition d'une tension continue ([7]).

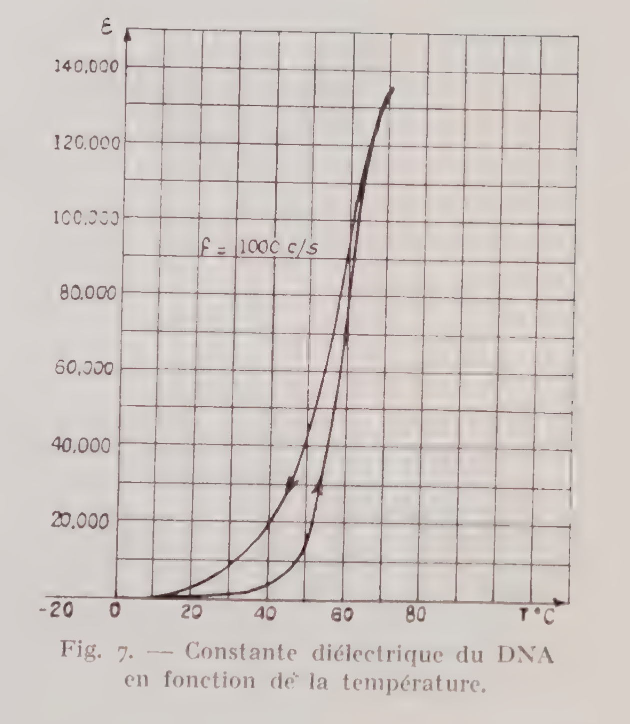


Fig. 7. — Constante diélectrique du DNA en fonction de la température.

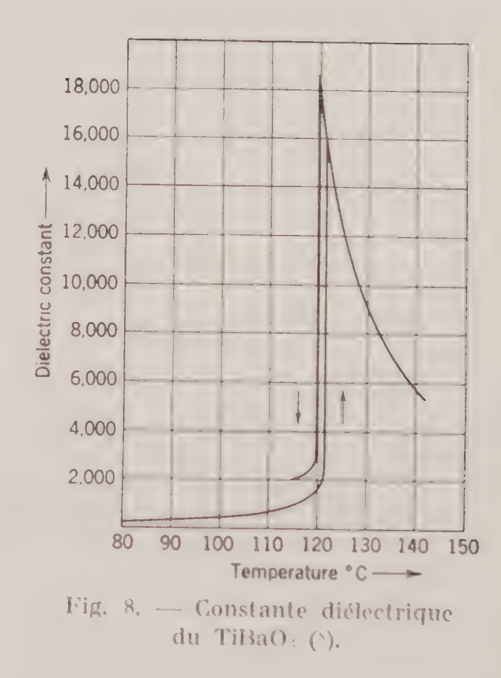


Fig. 8. — Constante diélectrique du $TiBaO_3$ [8].

le DNA présente un cycle double (*fig.* 1*e*) analogue à celui que présente $TiBaO_3$ (*fig.* 3*b*) [6].

Par ailleurs, dans certaines conditions, le DNA présente un cycle dissymétrique (*fig.* 4*a*) sans superposition d'une tension continue externe, cycle comparable à celui que présente $TiBaO_3$ avec superposition d'une tension continue externe (*fig.* 5) [7].

Tout se passe donc comme si, dans certaines conditions, le DNA présentait une polarisation interne provoquant la dissymétrie du cycle. D'ailleurs, en superposant au champ alternatif appliqué une tension continue de quelques volts dans le sens convenable, on inverse la dissymétrie du cycle du DNA (*fig.* 4*b*).

En faisant varier les divers paramètres (température, amplitude du champ, fréquence, etc.), on constate l'apparition d'un cycle transitoire, suivi d'un régime permanent qui s'établit selon une loi exponentielle et dont la constante de temps peut varier d'une fraction de seconde à plusieurs minutes.

La figure 6 montre un cycle d'hystérésis étroit enregistré au moment de l'application du champ alternatif, tandis que le cycle large a été enregistré 5 s plus tard, lors de l'établissement du régime permanent.

On a constaté que l'hystérésis diminue lorsque la fréquence du champ appliqué augmente, et en particulier au-delà de 1000 c/s.

b. Constante diélectrique du DNA, ε. — La figure 7 [8] représente la courbe donnant ε en fonction de la température. On peut comparer la figure 7 à la figure 8 relative au $TiBaO_3$ [9].

A des fréquences de quelques centaines de K/cs on constate que ε baisse considérablement. D'autre part, à 1000 c/s, ε passe de la valeur 500 environ pour T = 30° C à une valeur supérieure à 100 000 pour une température voisine de celle du point de Curie.

c. Piézoélectricité. — Les résultats des mesures de piézoélectricité sur les échantillons de DNA se sont avérés positifs. Des charges électriques de 10 u.é.s. C.G.S. par barye ont pu être enregistrées à 20° C.

Par ailleurs, on a constaté qu'en exerçant une pression sur l'échantillon au cours du relevé d'un cycle d'hystérésis, on provoque une dissymétrie de ce cycle, ce qui confirme l'existence d'une piézoélectricité.

d. Polarisation persistante interne. — On a pu mettre en évidence pour les échantillons de DNA étudiés, une polarisation persistante interne de longue durée (plusieurs heures), après application aux bornes de l'échantillon, pendant une courte durée (de l'ordre de 1 mn), d'une tension continue de quelques dizaines de volts.

La source continue étant coupée, et après avoir déchargé l'échantillon à la masse, les mesures à l'électromètre montrent la persistance d'une polarisation interne correspondant à une tension supérieure à 1 V pendant quelques heures. Cette polarisation s'inverse avec le sens de la tension continue appliquée.

RÉSUMÉ. — De ces résultats préliminaires, extraits d'un travail dont l'ensemble sera publié ultérieurement, on peut dégager les conclusions suivantes :

a. Les échantillons expérimentés de DNA solide manifestent des propriétés analogues à celles qu'on constate dans les matériaux ferroélectriques : le point de Curie étant situé dntre 50 et 60° C.

b. La variation de ε pour les températures inférieures au point de Curie semble très voisine de celle qui est constatée sur des ferroélectriques connus. Par contre, aux températures supérieures, la constante diélectrique ne semble pas suivre la loi Curie-Weiss.

c. Si les expériences ultérieures devaient confirmer que la ferroélectricité est une propriété intrinsèque des molécules de DNA, un champ nouveau s'ouvrirait pour l'étude des mécanismes biologiques.

(1) J. POLONSKY, *C. R. IIe Congrès international de l'Électronique médicale*, Paris, juin 1959.

(2) J. POUYET, Communication personnelle.

(3) M. G. SEVAG, D. B. LACKMAN et J. SMOLENS, *J. Biol. Chem.*, 124, 1938, p. 425.

(4) C. B. SAWYER et C. H. TOWER, *Phys. Rev.*, 35, 1930, p. 269.

(5) W. BANTLE, *Helv. Phys. Acta*, 15, 1942, p. 373.

(6) W. J. MERZ, *Phys. Rev.*, 91, 1953, p. 513.

(7) W. P. MASON et R. F. WICK, *Proc. Inst. Radio Engrs*, 42, 1954, p. 1606-1620.

(8) L'allure de la figure 7 est seule à prendre en considération; les valeurs de ε ne sont données qu'à titre indicatif car elles varient au cours des expériences en fonction du champ, de la durée d'application du champ et de l'hystérésis thermique.

(9) M. E. DRONGARD et D. R. YOUNG, *Phys. Rev.*, 95, 1954, p. 1152.

(Pierre DOUZOU, *Section Technique des Services de Santé, Paris.*
Charles SADRON, *Centre de Recherches des Macromolécules, Strasbourg.*
Joseph POLONSKY, *Compagnie Générale de T. S. F.,*
132, *avenue de Clamart, Issy-les-Moulineaux, Seine*).

PHYSICOCHIMIE BIOLOGIQUE. — *Étude quantitative des courbes de dilution normales et pathologiques enregistrées chez l'Homme par gammagraphie transthoracique.* Note (*) de MM. **Pierre Ourbak**, **Philippe Laudat** et **Jack Baillet**, présentée par M. Léon Binet.

Une précédente Note (1) a montré la possibilité d'enregistrement gammagraphique transthoracique continu des phénomènes circulatoires chez l'Homme, aboutissant à préciser différents temps circulatoires. L'étude de ceux-ci a permis des conclusions diagnostiques intéressantes en particulier chez les sujets porteurs de cardiopathie mitrale, conclusions reprises et développées depuis sur un plus grand nombre de cas (2).

L'étude *quantitative* des courbes permet d'affirmer, que la gammagraphie transthoracique fournit, avec une grande facilité et sans danger pour le malade, les résultats demandés d'ordinaire au cathétérisme intracardiaque et aux courbes de dilution des colorants. L'appareillage est celui précédemment décrit, auquel est adjoint une échelle de comptage mise en dérivation sur un des canaux d'enregistrement. La disposition des sondes est identique. On injecte rapidement dans une veine antibrachiale un *poids connu* d'une solution de sérum-albumine humaine marquée à l'iode 131 (correspondant à une dose de 15 à 20 μc, dose sûrement inoffensive, lorsque la glande thyroïde a été préalablement bloquée par l'administration d'une solution iodo-iodurée). Dans ces conditions, la radioactivité est enregistrée successivement au niveau des sondes thoraciques droite et gauche et de la sonde fémorale. Dès que la radioactivité inscrit le début de l'ascension de la courbe correspondante, l'opérateur déclenche le comptage du nombre de coups reçus. Le comptage est interrompu au moment où la décroissance de la courbe est nette, avant que l'état d'équilibre ne soit atteint. Les deux temps limites du comptage sont inscrits sur la courbe. Lorsque l'équilibre est atteint, on note le nombre de coups recueillis par la sonde pendant 1 mn, et l'on effectue un prélèvement de sang artériel fémoral.

Le volume sanguin (V) est apprécié en comparant, avec une sonde à cristal creux distincte de l'appareillage décrit, la radioactivité du prélèvement fémoral recueilli en fin d'expérience, à la radioactivité d'un échantillon pondéralement connu d'une dilution de la solution d'albumine dans 2 kg d'eau amenés au pH 7,5.

Mesure du débit cardiaque. — Hamilton a montré qu'on pouvait calculer le débit cardiaque (D. C.) à partir d'une courbe de dilution, en comparant la concentration moyenne de la substance indicatrice pendant le temps correspondant à la première circulation cardiaque, à la concentration moyenne de l'indicateur lors de l'état d'équilibre.

Ces concentrations sont comparables aux hauteurs moyennes H_1 et H_2 de la courbe de la figure 1. La formule permettant de calculer le D. C.

est V $\times$ (H_2/H_1) $\times$ (60/T) dans laquelle : V, volume sanguin total; T, le nombre de secondes écoulées de 0 à T, c'est-à-dire la durée de la courbe de première circulation. L'utilisation de l'échelle de comptage permet de calculer les facteurs $H_2 \times 60$ et $H_1 \times T$. $H_2 \times 60$ est le nombre de coups comptés à l'état d'équilibre pendant 1 mn, $H_1 \times T$ le nombre de coups émis du fait de la première circulation. La branche descendante de la courbe, reportée en coordonnées semi-logarithmiques est une droite, dont l'extrapolation permet de préciser le temps T. On peut alors corriger le comptage effectif en fonction de la surface de la courbe théorique, et calculer l'activité radioactive correspondant à la courbe de première circulation. Dans les neuf cas, où nous avons pu comparer le D. C. mesuré par gammagraphie au D.C. évalué par la méthode gazométrique de Fick (non pratiquée simultanément), six fois les résultats furent concordants, trois fois le D. C. calculé par cathétérisme à quelques jours d'intervalle était considérablement plus élevé. Ceci s'explique sans doute par le fait que le cathétérisme cardiaque beaucoup plus choquant entraîne de la tachycardie et mesure en réalité un D. C. d'effort.

Mesure du volume sanguin central. — Le volume sanguin (V. S. C.), ou volume circulatoire compris entre le point d'injection et le point où la radioactivité est enregistrée, peut être mesuré par la formule de Hamilton. Il est égal au produit du D. C. par s. par le temps de traversée moyenne (T. T. M.) : V. S .C. = (D. C. $\times$ T. T. M.)/60. Le T. T. M., ou temps moyen mis par une particule quelconque pour traverser le circuit, est le temps séparant le milieu du temps d'injection intraveineuse de l'ordonnée passant par le centre de gravité de la courbe de première circulation. Les V. S. C. calculés par gammagraphie sont plus élevés que ceux obtenus par dilution de colorants. Ceci est dû à l'amortissement de notre système électronique et au fait, que notre courbe traduit le plus souvent des phénomènes ventriculaires mixtes droit et gauche, et a donc une surface accrue par rapport à celle de la courbe de dilution, qui n'enregistre qu'un seul effet à la périphérie de l'organisme.

Le temps de circulation pulmonaire a été étudié précédemment ([2]).

Applications en pathologie. — Notre technique gammagraphique permet *la mise en évidence des insuffisances valvulaires et la mesure des débits de fuite.* Sans insister sur la valeur diagnostique particulière du temps d'injection fémorale ([1]), ni sur les autres critères morphologiques proposés, on peut, avec Korner et Shillingford, substituer à l'analyse morphologique une analyse *quantitative.* Ces auteurs ont montré que la courbe de dilution dépend de trois facteurs : le D. C., lorsqu'il augmente, élève le pic de concentration et, accuse la pente de la branche descendante de l'onde de première circulation; le V. S. C. agit en sens inverse; l'insuffisance valvulaire enfin abaisse le pic de concentration et diminue considérablement la pente de la courbe. Ces auteurs ont montré, sur un modèle expérimental et à partir de nombres recueillis chez l'Homme par enregistrements de

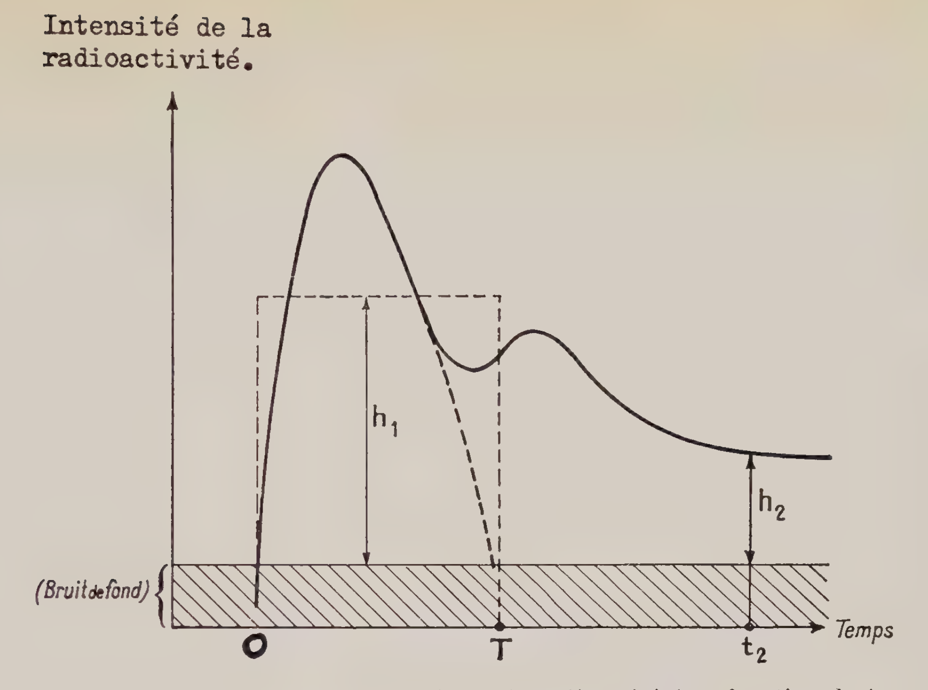


Fig. 1. — Courbe théorique de l'intensité de la radioactivité en fonction du temps.

Fig. 2. — Abaque inspirée de Korner et Shillingford.

En ordonnée l'indice de pente (1/L), les chiffres correspondant à l'étalonnage de notre appareil D = D.C. théorique. V = V.S.C.

Pour les points notés de 1 à 16 il y a correspondance entre D. C. théorique et réel.

Pour les autres points, correspondant à des cardiopathies avec insuffisance valvulaire lorsqu'on fait correspondre un V.S.C. et un indice de pente (1/L), on détermine un D. C. théorique inférieur au débit réel. La différence algébrique représentant le débit de régurgitation.

courbes de dilution de colorants, que chez le sujet normal, la pente de décroissance de la courbe, le D. C. et le V. S. C. constituent à eux trois un ensemble au sens mathématique du terme. Ils ont réalisé une abaque sur laquelle on peut faire correspondre en un point le D. C., le V. S. C. et l'indice de pente d'un sujet normal. Par extrapolation, ils font correspondre, dans les courbes pathologiques, à un indice de pente calculé, et pour un V. S. C. calculé, *un D. C. théorique*. Alors que chez les sujets sans insuffisance valvulaire, D. C. théorique et réel sont évidemment identiques, on conçoit, que chez les insuffisants valvulaires le D. C. théorique indiqué par le point de corrélation entre l'indice de pente et le V. S. C. puisse être nul ou négatif. La différence algébrique entre les D. C. réel et théorique représente le débit de régurgitation. *Nous avons étalonné une abaque* à partir de huit sujets normaux et de 7 cardiaques (rétrécissements mitraux sans insuffisance). Nous avons établi une nouvelle échelle de l'indice de pente (1/L) (*fig.* 2), et ainsi pu évaluer l'importance de la régurgitation valvulaire, en différenciant les maladies mitrales, où la sténose prédomine (débit de fuite inférieur à 1,7 l/mn), de celles, où la régurgitation prédomine (débit de fuite supérieur à 3,9 l/mn). La distinction entre ces deux catégories était basée sur la conjonction des données cliniques, hémodynamiques et chirurgicales.

Dans les *cardiopathies congénitales* enfin, nous avons observé, dans les *shunts gauche-droit* les mêmes modifications que pour les régurgitations, le volume du shunt pouvant être calculé par la même méthode. Dans les *shunts droit-gauche* on note une apparition précoce de la radioactivité au niveau de la fémorale.

En conclusion, malgré ses imperfections tenant à l'amortissement de l'appareillage électronique, qui interdit de donner aux nombres une valeur absolue, et au défaut de focalisation stricte des sondes à scintillation utilisées, la gammagraphie réalise une méthode non sanglante, sans danger, qui permet de calculer le débit cardiaque au repos et après effort, d'affirmer l'existence d'une régurgitation valvulaire et d'en évaluer l'importance.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) J. Baillet, Ph. Laudat et P. Milliez, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 1584.

(2) J. Baillet, Ph. Laudat, P. Ourbak, J. Carlotti et M. S. Moukhtar, *Acta Cardiologica*, 15, 1960, p. 31-48.

Bibliographie complète *in* P. Ourbak, *La gammagraphie cardiaque*, *Thèse Médecine*, Paris, 1960.

(*Faculté de Médecine, Paris, Institut National d'Hygiène.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Étude comparée de la répartition des acides nucléiques dans le bacille Proteus* P 18 *et dans une souche de formes L stable qui en dérive.* Note (*) de Mlles **Monique Sensenbrenner**, **Anne-Marie Bader**, MM. **Tullio Terranova** et **Paul Mandel**, présentée par M. René Fabre.

Rapportée aux protéines, la teneur en acide désoxyribonucléique (ADN) des formes L (F.L.) est supérieure à celle des bactéries dont elles dérivent. Le taux d'acide ribonucléique est semblable dans les deux formes de microorganismes. Pendant la phase stationnaire, un « grand » élément des F.L. contient 75 fois plus d'ADN qu'une bactérie et les petites formes renferment 1/3 de l'ADN d'un Proteus.

Nous avons étudié la teneur en acides nucléiques du Proteus P 18 et d'une F. L. qui en dérive. Le Proteus et les F. L. ont été cultivés dans un même milieu hypertonique, bouillon-sérum de cheval décrit antérieurement [1]. Ceci a permis d'établir la cinétique de la multiplication de ces deux formes de microorganismes et de les comparer aux diverses périodes de culture : phase de latence, phase de croissance exponentielle et phase stationnaire.

Nos essais ont porté sur le bacille Proteus P 18 et sur une souche L stable qui en dérive, isolée par Tulasne. Les cultures de Proteus et de F. L. de divers âges ont été centrifugées, lavées deux fois au Na Cl 9 ‰ qui respecte l'intégrité des F. L., lyophilisées, puis soumises à l'extraction des lipides selon Folch [2] et de l'acidosoluble par l'acide trichloracétique. Après hydrolyse du résidu selon la technique de G. Schmidt et S. J. Thannhauser [3] et la séparation des fractions ribonucléiques et désoxyribonucléiques, le ribose a été déterminé dans les premières par la technique à l'orcinol selon W. Mejbaum [4] et le désoxyribose dans les secondes par la méthode de Z. Dische [5] modifiée par K. Burton [6].

Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau I.

TABLEAU I.

Valeurs exprimées en microgrammes de phosphore nucléique pour 100 mg *de protéines.*

	Fin période latence.		Valeurs maximales (période exponentielle).		Début (période stationnaire).	
	Proteus.	Formes L.	Proteus.	Formes L.	Proteus.	Formes L.
Durée culture (h)...	1	2	2	6	15	24
ARN..............	1 700	1 574	2 230	2 074	1 550	1 491
ADN..............	310	406	310	513	393	530
$\frac{ARN}{ADN}$..............	5,50	3,88	7,20	4,04	3,94	2,82

Il ressort de l'examen de ce tableau que la teneur en ARN rapportée aux protéines est dans les F. L. à peine de 7 % supérieure à celle du Proteus

à la fin de la période de latence et au stade des valeurs maximales durant la période exponentielle, alors qu'au début de la phase stationnaire, les nombres sont similaires. Par contre, la teneur en ADN est plus élevée dans les F. L. tout au long de la culture. Enfin le rapport ARN/ADN est toujours plus élevé dans le Proteus, l'écart est à son maximum pendant la période exponentielle et se réduit entre les deux formes de micro-organismes durant la période stationnaire. A ce moment, ce rapport est d'environ 30 % supérieur dans le Proteus. Les rapports ARN/ADN s'avèrent plus élevés que ceux trouvés par R. Vendrely et R. Tulasne ([7]) (0,14). Ceci peut être dû au fait que leurs cultures de F. L. étaient plus âgées.

D'autre part, la teneur en ARN de nos F. L. sont plus proches de celles des bactéries normales que ce n'est le cas pour Kandler et coll. ([8]). Il convient sans doute d'en rechercher la cause dans la composition du milieu de culture qui semble, dans notre cas, plus favorable aux F. L.

Il était évidemment intéressant de connaître la quantité d'ARN et d'ADN par bactérie et par élément des divers types de F. L. Ceci a pu être réalisé en appliquant la méthode de fractionnement que nous avons décrite antérieurement ([1]).

Les résultats sont consignés dans le tableau II.

TABLEAU II.

Valeurs exprimées en microgrammes de phosphore nucléique par bactérie ou par forme L *de diverses tailles.*

Formes L (48 h)	ARN.	ADN.
Fraction I (grande taille)	260.10^{-9}	130.10^{-9}
Fraction II (taille moyenne)	8 »	3 »
Fraction III (petite taille)	14 »	0,5 »
Proteus P 18 (24 h)	5,1 »	1,74 »

Il en ressort un fait fondamental : alors que les formes grandes contiennent 76 fois plus d'ADN que les bactéries, les formes petites qui correspondent à notre troisième fraction ne renferment qu'un tiers de la quantité d'ADN par bacille Proteus. Or dans les F. L. réversibles, les éléments de cette fraction peuvent reconstituer des bactéries. Peut-on en conclure que ces formes possèdent la quantité d'ADN minimale nécessaire pour la production de bactéries et que celle-ci est inférieure à la quantité totale de l'ADN bactérien ? Le problème est à l'étude.

(*) Séance du 9 mai 1960.

([1]) P. MANDEL, T. TERRANOVA et M. SENSENBRENNER, *Comptes rendus*, 245, 1957, p. 1469.
([2]) J. FOLCH, *J. Biol. Chem.*, 191, 1951, p. 833.
([3]) *J. Biol. Chem.*, 161, 1945, p. 83.
([4]) *Z. Physiol. Chem.*, 258, 1939, p. 117.
([5]) *Mikrochem.*, 2, 1930, p. 4.
([6]) *Biochem. J.*, 62, 1956, p. 315.
([7]) *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 34, 1952, p. 785.
([8]) O. KANDLER, C. ZEHENDER et J. MULLER, *Archiv. Mikrobiol.*, 24, 1956, p. 219.

(*Institut de Chimie biologique, Faculté de Médecine, Strasbourg et Istituto di Patologia Generale Università, Torino, Italie.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Interaction entre les protéines et les cations métalliques. Activité précipitante de quelques métaux sur les protéines sériques séparées par électrophorèse en gélose.* Note (*) de M. **José Uriel**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Une méthode, permettant d'évaluer le pouvoir précipitant des métaux envers les protéines sériques séparées par électrophorèse en gélose, est décrite. Les possibilités d'utilisation de certains métaux pour la précipitation réversible et sélective des protéines, en l'absence des solvants organiques, sont étudiées.

Les fixations multiples d'un cation métallique sur une protéine provoquent, dans les propriétés physicochimiques de la molécule protéique, différentes modifications. Elles peuvent se manifester par des changements de la mobilité électrophorétique, du spectre d'absorption et de la solubilité. Les variations de la solubilité peuvent aller jusqu'à l'agrégation des complexes et la précipitation totale de la protéine. Cette précipitation est provoquée par la formation préalable de complexes multiples métal-protéine, dont la nature et le nombre dépendent, à leur tour, d'une série de facteurs concernant la protéine elle-même, le métal réagissant et le milieu de la réaction. Il en résulte que, pour déterminer les lignes générales gouvernant ces interactions précipitantes, il faut d'abord préciser le rôle des différents facteurs sur l'extension des complexes et, corrélativement, le degré de précipitation d'une protéine.

Nous avons d'abord étudié l'activité précipitante d'une série de cations métalliques : Ca^{++}, Ba^{++}, Mn^{++}, Co^{++}, Ni^{++}, Cd^{++}, Zn^{++} et Cu^{++}, vis-à-vis des protéines sériques séparées par électrophorèse en gélose selon la technique et le dispositif de Grabar et Williams [1].

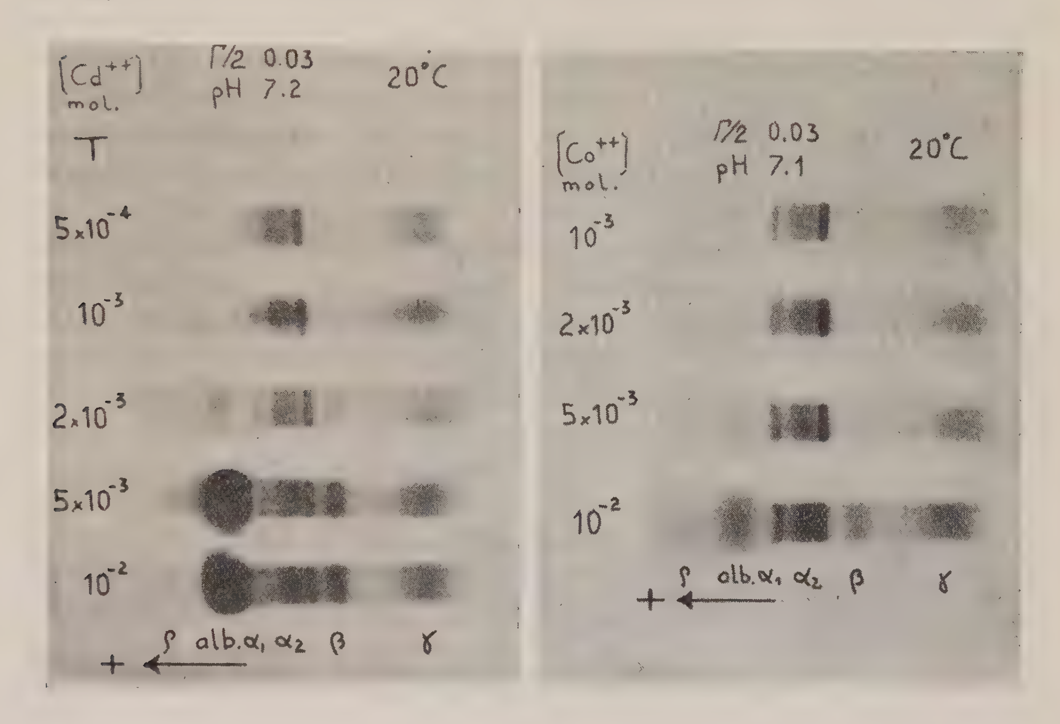
Pour évaluer l'activité précipitante, nous avons mis au point un procédé dont le principe et les lignes générales sont les suivants : lorsque la séparation électrophorétique (tampon véronal sodique, pH 8,2) des constituants sériques est accomplie, on plonge chaque plaque de gélose dans une solution précipitante constituée par le sel métallique (acétate ou nitrate) d'un des métaux précités. Le sel, en pénétrant par diffusion à l'intérieur du gel, provoque la précipitation de certaines des protéines présentes, lesquelles resteront ainsi fixées *in situ*. De leur côté, les constituants protéiques qui, dans les conditions de l'expérience, ne sont pas insolubles, diffuseront hors du gel dans la solution. Une fois atteinte la fin de ce double processus, la plaque de gélose est retirée de la solution précipitante et, par des techniques que nous avons décrites précédemment [2], soumise d'abord à une dessiccation sous papier filtre, ensuite à la caractérisation des protéines précipitées par coloration avec le Noir Amido. De cette façon, on peut apprécier, dans des conditions différentes (pH, force ionique, tempé-

rature, etc.), les modalités et le pouvoir de précipitation de chaque métal sur les protéines d'un mélange.

A l'aide de cette technique et en utilisant comme solution protéique le même mélange de sérums humains normaux, nous avons étudié :

— le pouvoir précipitant des différents cations métalliques lorsqu'ils sont utilisés à la même concentration (10^{-2} M);

— le pouvoir précipitant en fonction de la concentration de chaque métal;



— l'influence de la force ionique, du pH et de la température sur le pouvoir précipitant des métaux.

Bien que la précision et la reproductibilité limitées de la technique employée ne permettent pas d'en faire une méthode analytique quantitative, le procédé suivi permet, néanmoins, de dresser un schéma général des interactions précipitantes métal-protéine et d'en tirer quelques conclusions [3] :

a. Le pouvoir précipitant, sur les protéines sériques, des métaux étudiés, semble être non spécifique. Ceci se traduit par la possibilité de précipiter un même groupe donné de constituants protéiques avec des métaux différents, sous la réserve d'un choix convenable dans les concentrations respectives de chaque ion métallique. L'ensemble des métaux essayés peut être classé selon une série décroissante :

$$Cu > Zn > Cd > Ni > Co > Mn > Ba > Ca,$$

qui exprime le pouvoir global de précipitation, c'est-à-dire le pourcentage

de protéines d'un mélange précipitées quand la contribution à la force ionique de la solution précipitante est entièrement constituée par le sel métallique essayé.

b. Il suffit de faire varier la concentration d'un même métal en l'accroissant à partir d'une valeur suffisamment basse, pour précipiter progressivement, les unes après les autres, plusieurs des protéines d'un mélange ou même la totalité, si l'activité précipitante du cation en essai est assez grande pour atteindre le seuil de précipitation globale du mélange (*fig.* 1). Malgré l'intérêt de cette constatation, elle ne semble avoir été, jusqu'à présent, que peu exploitée pour l'isolement de protéines par des métaux.

c. La force ionique et la température semblent avoir peu d'influence sur le degré de précipitation en gélose des complexes métalloprotéiques.

d. Le pouvoir précipitant augmente avec le pH dans l'intervalle compris entre 5,6 et 7,5.

e. Parmi les métaux étudiés, le cuivre est celui qui montre, et de loin, le plus grand pouvoir précipitant envers les protéines sériques soit, de l'Homme, soit du Cheval. Son seuil de précipitation global (concentration minimale d'un métal nécessaire pour précipiter l'ensemble des constituants d'un mélange) se situe autour d'une concentration molaire en ion cuivrique de 5.10^{-4}.

(*) Séance du 9 mai 1960.

(1) P. Grabar et C. A. Williams, *Biochim. Biophys. Acta*, 17, 1955, p. 67.
(2) J. Uriel, *in* P. Grabar et P. Burtin, *L'Analyse Immuno-électrophorétique; ses applications aux milieux biologiques humains*, Masson, Paris, 1960.
(3) J. Uriel, *Thèse Doct. Univ.*, Paris, 1959.

(*Service de Chimie microbienne, Institut Pasteur, Paris.*)

IMMUNOLOGIE. — *Rapports entre le taux des anticorps précipitants et le degré d'immunité provoqués chez le Bœuf par la vaccination antiaphteuse.* Note (*) de M. **Maurice Fedida**, présentée par M. Gaston Ramon.

La vaccination antiaphteuse des bovidés déclenche une série de réactions humorales dont la mise en évidence peut être réalisée par différentes méthodes sérologiques. Parmi celles-ci, la réaction d'Ouchterlony ([4]) de double diffusion en milieu gélifié n'a jamais été employée de façon systématique pour l'étude des sérums de bovins vaccinés.

Le but de l'expérience entreprise a été, d'une part, de vérifier si la vaccination pouvait faire apparaître des anticorps précipitants dans le sérum des animaux immunisés et, d'autre part, de rechercher si le taux de ces anticorps présentait une relation avec le degré d'immunité appréciée par « l'indice de protection K », cet indice étant calculé sur bovins par titrage comparé de virus aphteux par voie intralinguale sur vaccinés et sur témoins ([1]).

Le milieu de diffusion est constitué par un gel à 1,5 % d'agar-agar purifié. La lymphe des vésicules aphteuses représente l'antigène donnant les résultats les plus constants. Les sérums qui sont alors l'élément inconnu de la réaction proviennent de bovins vaccinés selon différentes modalités en vue de la détermination de « l'indice de protection ». Un même animal fournit, au cours de son immunisation ou après épreuve par inoculation virulente, plusieurs échantillons de sérum qui sont utilisés purs et non chauffés. Les vaccins employés étant monovalents, seule la réaction homologue avec le type de virus correspondant a été effectuée. La positivité de la réaction se manifeste par la présence, entre la cupule contenant le sérum et celle contenant le virus, d'une ligne de précipitation, quelquefois dédoublée, dont l'épaisseur permet d'apprécier, en première approximation, l'intensité de la réaction.

Le seuil de visibilité de la réaction est tel qu'aucun animal avant vaccination ne présente de ligne de précipitation. Par contre, l'immunisation artificielle déclenche l'apparition de lignes dont l'intensité suit assez fidèlement les valeurs de « l'indice de protection K » : l'absence de lignes correspond, le plus souvent, à des sérums provenant d'animaux dont « l'indice de protection » est inférieur ou égal à 10^1, les lignes fines et moyennes aux valeurs moyennes de K ($10^1 < K < 10^3$), les lignes épaisses aux valeurs élevées ($K > 10^3$) et à celles-là exclusivement.

La relation étroite existant entre la valeur de « l'indice de protection K » et la probabilité de lésions podales de généralisation ([2]), jointe au fait que l'intensité des lignes de précipitation va dans le même sens que la valeur de K a conduit à rechercher si la réaction en gélose pouvait avoir une valeur pronostique quant à l'apparition ou non de lésions secondaires

podales. A cet effet, les sérums d'animaux gardés huit jours en observation après inoculation pour permettre l'extériorisation de lésions podales ont été éprouvés par cette méthode. De cette expérience résumée dans le tableau I, se dégage la conclusion suivante : une réaction négative d'un sérum en gélose ne permet pas d'affirmer que l'animal correspondant présentera ou non des lésions secondaires. Par contre, l'existence d'anticorps précipitants décelables ne s'observe, à une exception près, que dans le sérum d'animaux suffisamment immunisés pour ne pas montrer de lésions secondaires.

TABLEAU I.

Relation entre l'existence ou non de lésions secondaires, sur bovins, et l'aspect de la réaction en gélose dans les sérums correspondants.

	Nombre de sérums correspondants ayant donné en gélose une réaction :	
Nombre de bovins vaccinés.	positive.	négative.
N'ayant pas présenté de lésions secondaires : 95	71 soit 74 %	24 soit 25 %
Ayant présenté des lésions secondaires : 61	1 soit moins de 2 %	60 soit 98 %

La réaction d'Ouchterlony permet, en outre, de suivre l'évolution des anticorps précipitants soit après vaccination, soit après inoculation virulente. Chez les animaux vaccinés, la réaction n'est jamais positive avant le 6e jour suivant la vaccination, l'apparition des anticorps étant d'autant plus précoce que la réaction sera plus intense au moment où l'on admet que l'immunité est installée, soit après 21 jours. Chez les animaux témoins inoculés avec du virus aphteux, l'apparition des anticorps s'observe dès le 5e jour après l'inoculation. Les lignes dues à la vaccination ne diffèrent, ni par leur aspect ni par leur intensité de celles dues à l'inoculation, dans la mesure du moins, où l'examen du sérum est réalisé sur un prélèvement effectué dans un intervalle de temps relativement court après la vaccination ou après l'inoculation. De ce fait il est nécessaire d'envisager avec beaucoup de circonspection l'emploi de la méthode d'Ouchterlony dans le dépistage, à leur arrivée dans un pays indemne de fièvre aphteuse, d'animaux guéris et, éventuellement, encore porteurs de virus, ainsi que l'espérait Moosbrugger ([3]).

L'étude, par la réaction d'Ouchterlony, de quelque 600 sérums d'animaux vaccinés contre la fièvre aphteuse montre ainsi que, si cette méthode ne peut, par elle seule, représenter un moyen indirect de contrôle de l'immunité, elle est néanmoins à utiliser avantageusement, en raison de sa relative simplicité, comme méthode d'appoint pour détecter les anticorps circulants et pour fournir une estimation approximative de l'immunité conférée par la vaccination.

(*) Séance du 2 mai 1960.

([1]) F. LUCAM et M. FEDIDA, *Bull. Off. Int. Epiz.*, 49, 1958, p. 596.

(2) F. LUCAM et M. FEDIDA, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2776.
(3) G. A. MOOSBRUGGER, V. SPUHLER et K. MEYER, Communication F. A. O., Paris, 13-17 février 1956.
(4) O. OUCHTERLONY, *Ark. Kemi.*, 26 B, 1949, p. 1.

(*Laboratoire de Recherches de l'École Nationale Vétérinaire de Lyon.*)

La séance est levée à 16 h.

R. C.

ERRATUM.

—

(*Comptes rendus* du 11 avril 1960.)

Note présentée le 4 avril 1960, de M. *Michel Perrin* et Mme *Arlette Vassy*, Perturbations subies par la raie verte de la lueur nocturne lors d'éjection de métaux alcalins à l'aide de fusées :

Page 2741, la figure se trouve la tête en bas et doit être retournée pour être d'accord avec le texte.